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 REGADIO CON DRENAJE ENTERRADO

Por

Rafael Rodríguez	UPC
Juan Herrero	SIA-DGA
Jaime Porta	UPC

con la colaboración:

Vegetación:	
Juan Pedrol	UPC
Mineralogía de arcillas:	
Mª Teresa García.	CSIC

Lleida Septiembre 1989

© 1989. Depósito legal : L-1450/ 89

R. Rodríguez & al.
Suelos de regadío con drenaje enterrado.
D.M.C.S. - U.P.C. & S.E.C.S. Lérida

INDICE

1. Introducción. 3

2. Zona de estudio. 5
   2.1. Localización. 5
   2.2. Lltoestratigrafía. 9
   2.3. Geomorfología. 23
      a. Plataformas estructurales dominantes. 23
      b. Plataformas residuales. 25
      c. Vertientes. 25
      d. Depresión de Sariñena. 26
   2.4. Climatología. 27
      a. Localización de los observatorios. 27
      b. Series de datos. 28
      c. Régimen de temperaturas. 28
      d. Régimen de precipitaciones. 31
      e. Balance hídrico. 35
      f. Diagrama ombrotérmico. 37
      g. Indices y clasificación climática. 38
      h. Régimen de temperatura del suelo. 39
   2.5. Vegetación. 45
   2.6. Introducción a los sistemas de cultivo de la zona. 51

3. Procesos de salinización-sodificación. 54
   3.1. Ciclo de salinización-sodificación. 54
   3.2. Características de suelos de secano sobre hojaldre. 56
      a) Macromorfología.
      b) Caracterización analítica. 59
      c) Mineralogía de arcillas. 65
      d) Mineralogía de arenas. 68
      e) Análisis totales. 69
      f) Micromorfología. 70
   3.3. Suelos en regadío: Problemática por salinización-sodificación. 75
      a) Distribución de los suelos afectados por salinidad. 75
      b) Variabilidad espacio-temporal de la salinidad de suelos. 76
      c) Suelos en regadío: Parcela experimental de San Juan de Flumen. 87
      d) Colmatación de drenes. 88

4. Evaluación de suelos para regadío. 89

5. Metodología empleada. 90

Agradecimientos. 93

6. Bibliografía. 94

1. INTRODUCCION.

El conocimiento de los suelos en condiciones de secano es el punto de partida para una transformación en regadío. Cuando se trata de suelos poco conocidos o de propiedades especiales, el empirismo suele ser insuficiente para predecir su respuesta al riego. Algunos suelos de los regadíos del valle del Ebro, en especial en el sistema Flumen-Monegros, han presentado problemas tras la llegada de la tan esperada agua.

En ocasiones las causas fueron las nivelaciones realizadas sin criterios edafológicos. Esta fue durante años una tecnología obligada para la puesta en riego, que puso en superficie materiales poco deseables. En otras ocasiones se pusieron en riego zonas que debieron ser excluidas.

El caracter limoso, la disposición laminada horizontal a varias escalas y la sodicidad de los materiales han sido los principales condicionantes desfavorables. Cuando el material original contiene yeso en cantidades moderadas, los resultados suelen ser mejores, ya que las aguas de riego son de baja conductividad eléctrica.

Las soluciones a posteriori pueden ser difíciles y a veces económicamente impracticables. Sin embargo, ante los fracasos sólo cabe la posición de intentar comprender los procesos que han llevado a ellos y reconstruir las situaciones de partida para ampliar la experiencia en tecnología de suelos.

Los procesos, aunque desencadenados por acción antrópica, no dejan de ser procesos edafogenéticos que requieren aplicar la metodología clásica en Edafología. La reconstrucción de las situaciones iniciales obliga a ampliar el conocimiento del territorio, ya que las situaciones asimilables a la de partida no siempre son fáciles de encontrar.

El hecho inicialmente investigado, la colmatación de drenes en una finca experimental, es el resultado de procesos que se ha visto son generalizables en el área. El proceso se ha investigado mediante varias técnicas, entre las que ha sido decisiva la micromorfología. La prospección de suelos en secano dentro del área ha dado resultados que permiten una mejor comprensión de los problemas que puede suponer la puesta en regadío de los materiales limosos, laminados y sódicos.

2. ZONA DE ESTUDIO.

2.1. Localización.

El estudio de suelos de regadíos de Huesca se centra en el sistema Flumen-Monegros. En la cuenca del Ebro la superfície regada rebasa el medio millón de hectáreas, de las cuales varias decenas de miles de hectáreas (Cuadro nº 1) están afectadas por problemas de salinidad (Herrero & al. 1988). El área correspondiente al sistema Flumen-Monegros en sus tramos 2 y 3, de un total de unas 55.000 ha, del orden de un 10% están salinizados, un 20% sufren procesos de salinización-sodificación y un 5% se hallan sodificados alcanzándose valores de pH que evidencian procesos de sodificación, de acuerdo con la información de IRYDA.

La zona de regadíos de Flumen-Monegros se encuentra en la provincia de Huesca (Fig. 1), al Sur de la ciudad de Huesca y al Norte de la Sierra de Alcubierre, que la separa de la provincia de Zaragoza. El Canal de Flumen forma el límite Norte, al Oeste y Sur se halla el Canal de Monegros y al Este el río Alcanadre. La altitud oscila entre unos 400 y 260 m.

Cuadro nº 1.- Suelos afectados por salinidad en zonas declaradas de interés nacional en el Valle del Ebro (Herrero & Aragüés, 1988).

Zona regable	Superficie estudiada (hectáreas)	Año del estudio	Suelos con salinidad o con necesidad de control: 2 < CE < 4 dS/m y ESP < 15		CE > 4 dS/m o ESP > 15	
			hectáreas	%	hectáreas	%
1ª parte del Canal de Bardenas sect. 14 al 32	32.300	1974			13.500	41,8
2ª parte del Canal de Bardenas	66.000	1976	12.875	19,5	13.284	20,1
Canal del Cinca, sectores 23-37,	38.706	1975	2.650	6,8	5.569	14,4
sectores 1-22	56.729	1976	4.227	7,5	13.458	23,7
Canal Aragón y Cataluña	135.900	1981	40.400	29,7	34.700	25,5
Canal del Flumen	27.488	1976	2.798	10,2	12.883	46,9
1ª parte del Canal de Monegros, tramos 2º y 3º,	35.875	1975	8.949	24,9	6.178	17,2
tramo 4º.	8.795	1975	210	2,4	4.645	52,8
2ª parte del Canal de Monegros.	133.896	1979-84	27.981	20,9	46.479	34,7
TOTAL	535.689		100.090	18,7	150.696	28,1

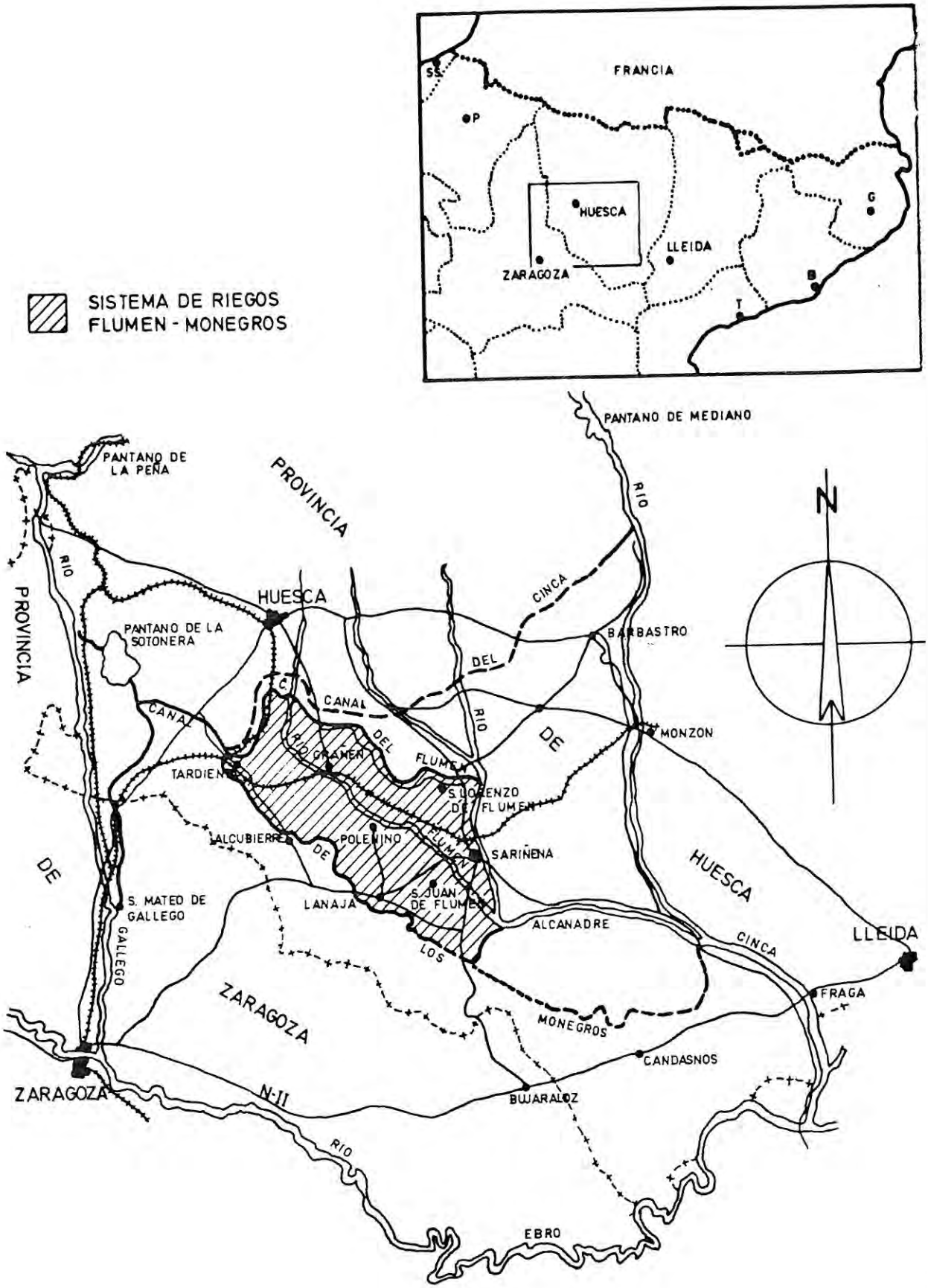


Fig. 1.-Localización general de la zona.

Las principales poblaciones son Sariñena y Grañén. Dentro de esta amplia zona, los estudios se han centrado por una parte en Fraella, en las proximidades de Grañén (Fig. 2), donde ha sido posible identificar un área de suelos conservados en secano que pueden servir como referencia de las características de los materiales originarios y los suelos antes de la transformación en regadío. En sus inmediaciones se hallan suelos que, a pesar de haber sido transformados en regadío, fueron objeto de escasa intervención, por lo que a movimientos de tierra se refiere. Por otro lado, se han estudiado los suelos afectados por salinidad en un perímetro de drenaje (parcelas experimentales de IRYDA) localizado en San Juan de Flumen en el término municipal de Sariñena (Fig. 3).

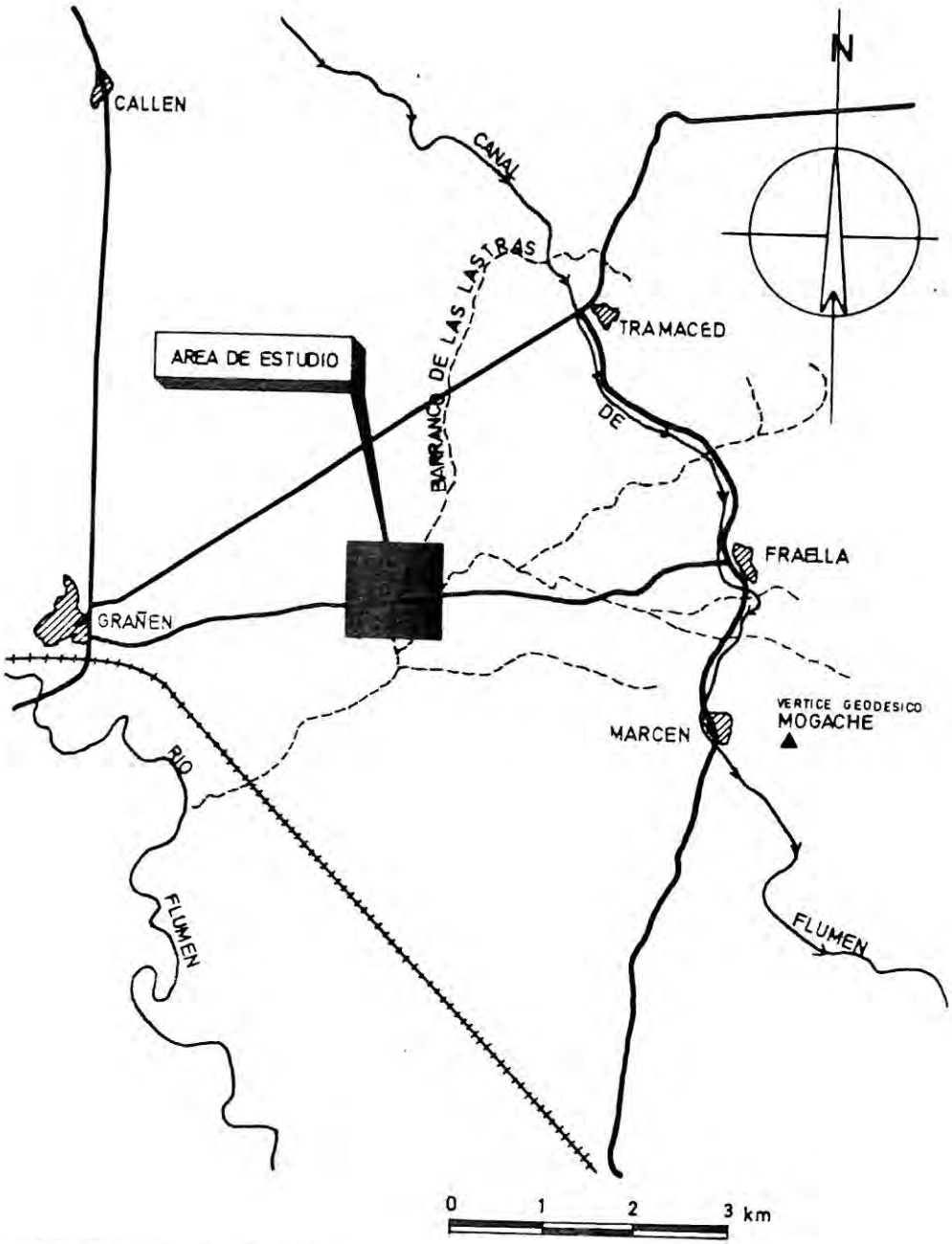


Fig. 2.- Localización de la zona de Fraella.

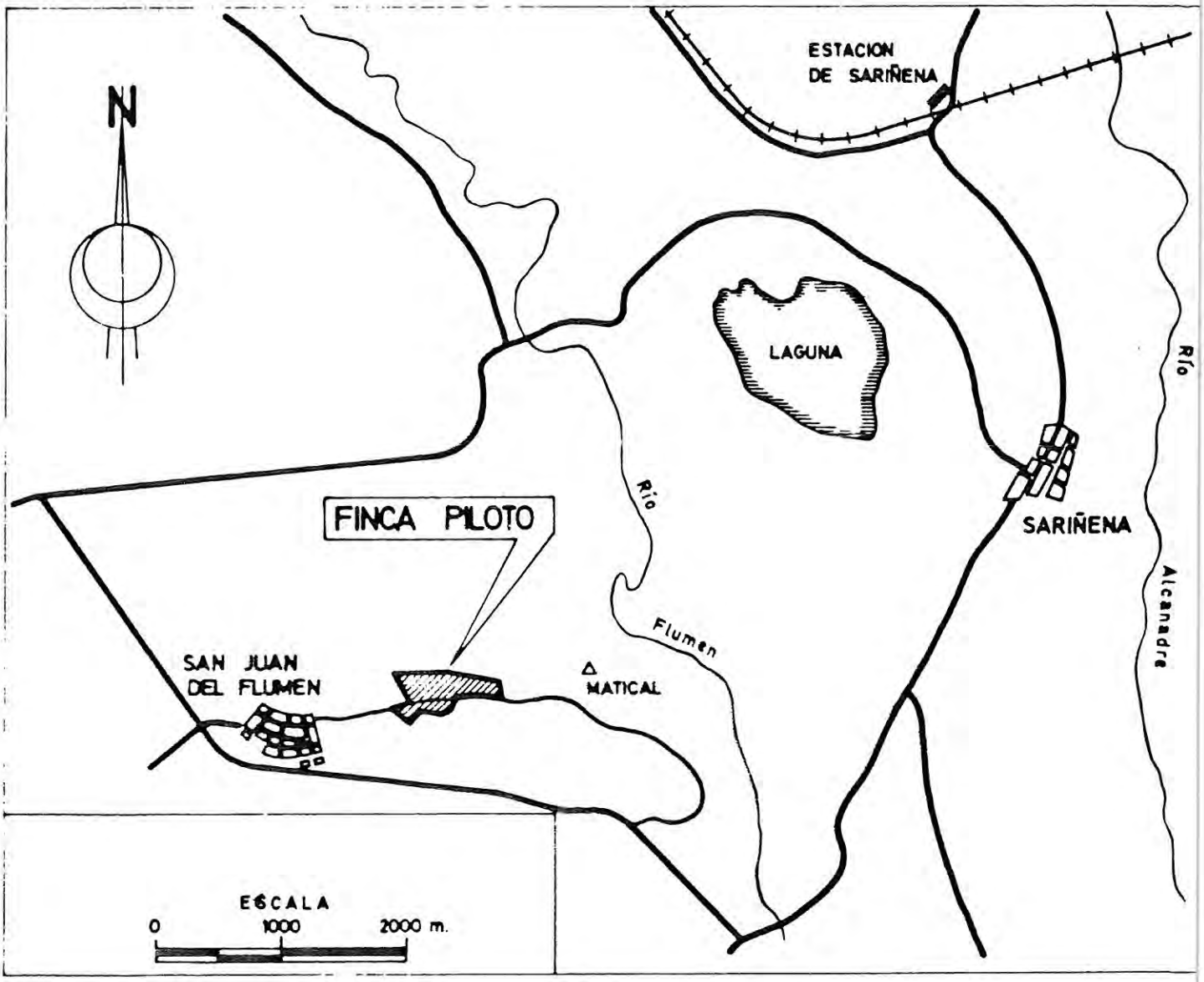


Fig. 3.- Situación de la finca experimental de San Juan de Flumen (Sariñena, Huesca).

2.2. Litoestratigrafía.

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 (Roca, 1989). La Fig. 4 refleja su corte estratigráfico según Quirantes (1969) de la zona central de la Depresión del Ebro, coincidente en su parte más septentrional con la zona de estudio.

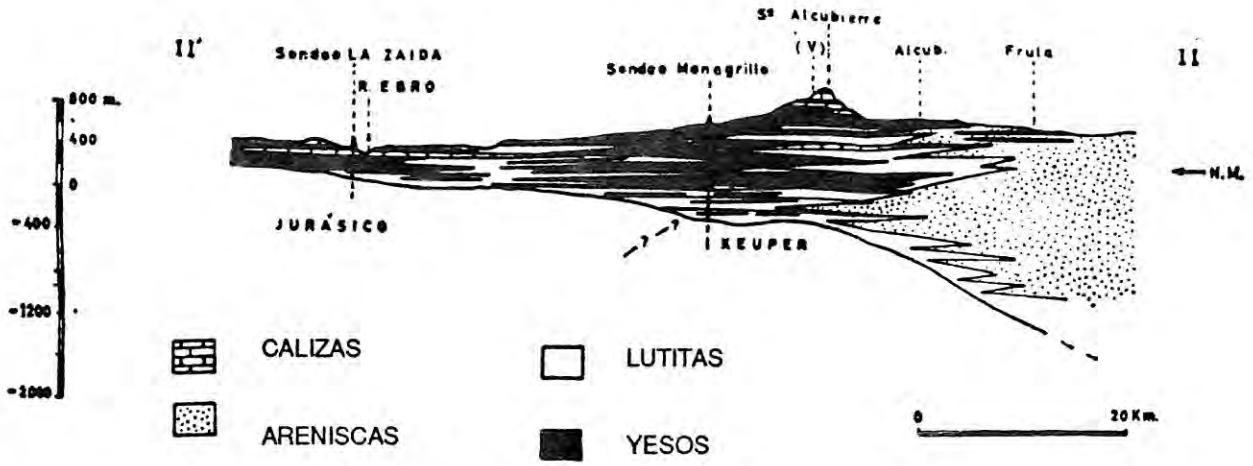


Fig. 4.- Corte estratigráfico de la zona central de la Depresión del Ebro (Quirantes, 1969).

b. Materiales del Terciario.

b.1. Estratigrafía.

Las distintas Formaciones al Norte de la parte central del Valle del Ebro (Quirantes, 1969) son de Sur a Norte la Formación Zaragoza, la Formación Alcubierre, la Formación Sariñena y la Formación Peraltilla (Fig. 5).

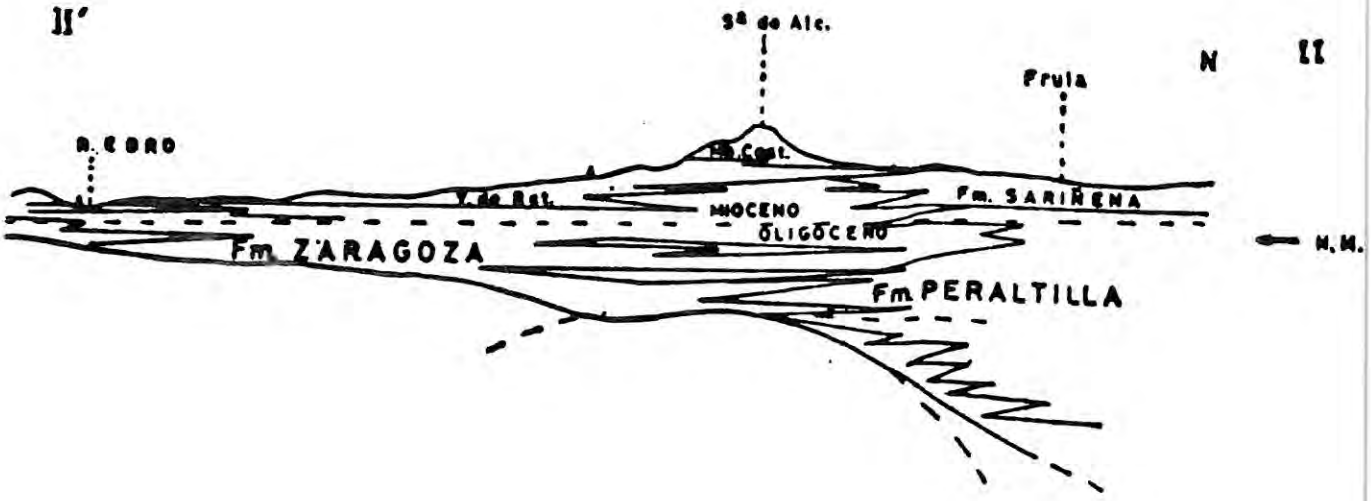


Fig. 5.- Formación terciaria al N de la parte central del Valle del Ebro (Quirantes, 1969).

La columna litoestratigráfica de la zona de estudio se puede caracterizar por dos formaciones, una de carácter predominantemente carbonático a techo y otra esencialmente detrítica infrayacente. La primera corresponde a la Formación Alcubierre (Quirantes, 1969), está formada de alternancias de calizas en bancos generalmente potentes y calcilutitas blancas en capas intercaladas, siendo más frecuentes hacia la base. La potencia total es aproximadamente de unos 300 m. El autor citado propone una datación Vindoboniense superior.

La transición a la formación detrítica subyacente se produce gradualmente, apareciendo alternancias variables de calizas, calcilutitas, yesos y arenitas, se localiza en la parte occidental de la zona de Flumen-Monegros y con una extensión relativamente pequeña. La formación Sariñena (Quirantes, 1969) es de carácter detrítico, discordante con los materiales oligocenos y una edad Aquitaniense-Vindoboniense inferior.

Se distinguen dos miembros por su petrología y diferente competencia:

- Miembro Alberuela de Tubo: con calcarenitas fuertemente cementadas, predominantes, y calcilutitas. Estas areniscas presentan unos elevados procentajes de $CaCO_3$, (40-68%), así como poca fracción fina y biotitas poco frecuentes. Son materiales competentes dando relieves en mesas característicos de la zona NE. Al pie de dichos relieves circula el Canal de Flumen.

- Miembro Sariñena: las calcilutitas son predominantes, apareciendo bancos de arenitas. Las lutitas presentan sales solubles, y son predominantemente limosas. Sus tonalidades son generalmente rojizas, predominando los matices 10 YR, brillos (5-6) y cromas (5-8).

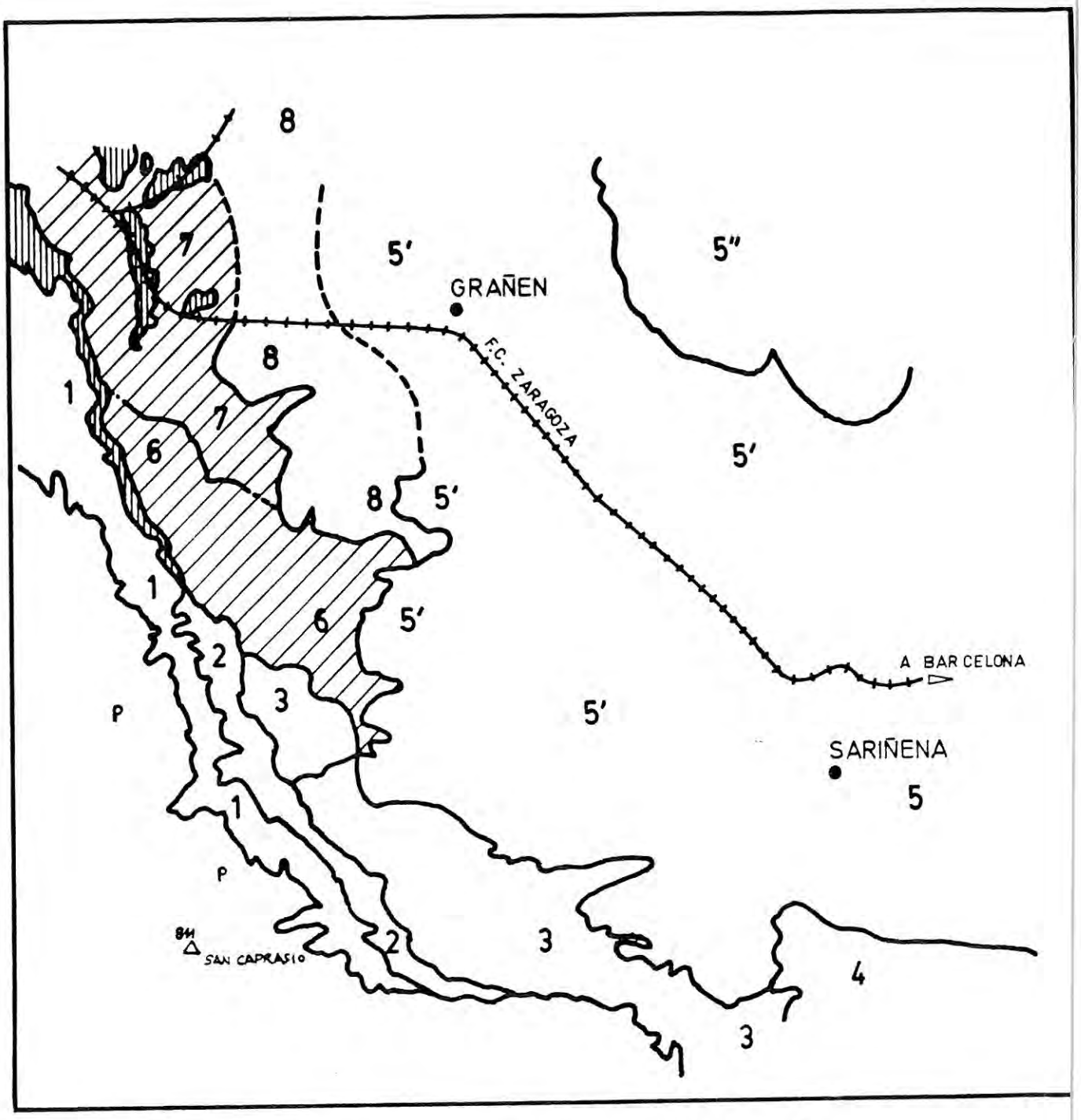
b.2. Litología.

Las litologías del Terciario de la zona Norte de Monegros han sido descritas por Quirantes (1969), con ligeras modificaciones se representan en la Fig. 6. Se ha destacado en el mapa la zona en que los materiales contienen yeso, ya que ello ha tenido y tiene incidencia sobre los suelos frenando los procesos de sodificación tras la puesta en riego.

Cabe distinguir las arenitas y las lutitas de la Formación Sariñena. Las arenitas son rocas detríticas de grano de fino a muy fino, presentándose tamaños más gruesos en el Miembro Alberuela. Su cemento es mayoritariamente calcáreo, con contenidos medios del 10-30%. La textura de tipo microbrechoide y los granos de angulares y subangulares. Su composición mineral refleja un predominio del cuarzo; aparecen además, calcita, goethita, biotita, clorita y plagioclasas poco abundantes y no alteradas. La presencia de circón, turmalina, rutilo , epidota y estaurolita indican el origen pirenáico de los clastos (Quirantes, 1969).

Los cuerpos sedimentarios de areniscas se presentan predominantemente en forma laminar como consecuencia de la migración lateral del canal sedimentario (Puigdefabregas, 1971). Sólo en la zona de San Lorenzo de Flumen se observan frecuentemente paleocanales acintados que la erosión ha dejado como relieves invertidos.

Las lutitas de la Formación Sariñena se han caracterizado a partir de 27 muestras tomadas en canteras o cortes recientes. Los resultados quedan reflejados en el cuadro nº 2, que ha sido elaborado para determinar las frecuencias para cada uno de los intervalos de medida establecidos en cada caso. Se observa que los contenidos en carbonato cálcico son altos ($X = 23.6 \pm 8.1$, $n = 27$). La caracterización de la salinidad utilizando la técnica clásica de pasta saturada (Richards & al., 1954, 1969) resulta de interés para poder comparar con los resultados correspondientes a los suelos derivados de estas lutitas, dejadas en superfície a causa de las nivelaciones.



P Calizas masivas (calizas de páramos)

1 Calizas masivas con bancos de yesos.

Calizas, en bancos potentes.

2 Calizas y lutitas en bancos alternados

3 Calizas, en bancos potentes y lutitas.

4 Calizas, en bancos delgados de lutitas

5' lutitas (predominantes), y arenitas

5" Arenitas (predominantes) y lutitas

6 Calizas, lutitas y yeso

7 Arenitas, lutitas y yeso

8 Calizas, lutitas y arenitas

Fig. 6.- Mapa litológico de la zona N de Monegros (Huesca) según Quirantes (1969) modificado: La presencia de yeso en los materiales (areas 6 y7) ha tenido efectos positivos sobre la respuesta de los suelos al ser transformados en regadío.

Cuadro nº 2.- Caracterización química de lutitas.

Número muestra	Localización, prof. muestra	dS/m a 25° CE (1:5)	pH 1: 2.5	pH pasta	$CaCO_3$ eq. %	Hs %	dS/m a 25° CE_e	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	CO_3^{-2}	S.A.R.	$\Sigma Cat/CE_e$	Ca^{+2}/Mg^{+2}	Cl^{-}/SO_4^{-2}
								meq/l			meq/l							
16/89	corte presa (Gabardà) ↓6 m sup x	0.26	9.3	9.0	21.2	52.5	2.01	2.92	9.08	14.20	14.60	2.93	7.1	0	5.8	13.20	0.32	4.98
17/89	corte presa (Gabardà) ↓10 m sup.	0.20	9.3	9.0	19.3	57.0	1.42	1.95	5.13	6.52	7.33	1.92	4.5	0	3.5	9.60	0.38	3.82
18/89	Car.Alcubierre km 60.3 ↑2m base	3.49	–	8.3	11.3	41.5	26.80	35.38	118.60	133.69	154.50	113.00	5.2	0	15.2	10.70	0.30	1.37
19/89	Tardienta Carretera ↓150 cm sup	0.73	8.5	8.1	23.0	60.0	6.50	31.72	42.68	4.30	8.62	65.16	3.1	0	0.7	12.10	0.74	0.13
20/89	Car. Alcubierre km 60.2 ↑1 m base	3.61	–	8.3	18.3	40.0	26.19	40.06	102.74	135.86	162.50	107.00	2.6	0	16.1	10.60	0.39	1.52
21/89	Tardienta corte canal Flumen Abajo ↓6 m sup.	2.90	–	9.2	30.0	58.0	26.80	31.23	76.29	224.84	184.00	139.00	5.5	0	30.7	12.40	0.41	1.32
22/89	Tardienta corte canal Flumen Arriba ↓3 m sup.	0.76	–	8.9	29.4	53.5	6.09	13.17	27.20	35.00	64.00	40.40	3.7	0	7.8	12.40	0.48	1.58
23/89	Vicien 1 canal Flumen 200 cm sup	2.27	–	9.4	28.5	69.0	12.67	6.10	10.70	148.00	132.00	28.67	8.2	0	51.1	13.00	0.57	4.60

Cuadro nº 2.- Caracterización química de lutitas.

Numero muestra	Localización, prof. muestra	dS/m a 25° CE (1:5)	pH 1:2.5	pH pasta	$CaCO_3$ eq. %	Hs %	dS/m a 25° CE_e	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	CO_3^{-2}	S.A.R.	$\Sigma Cat/CE_e$	Ca^{+2}/Mg^{+2}	Cl^{-}/SO_4^{-2}
								meq/l			meq/l							
24/89	Vicien 2 mte Gurigu corte natural	0.58	9.0	8.8	22.2	56.0	6.03	6.83	15.97	45.21	41.76	14.40	3.8	0	13.4	11.30	0.42	2.90
708/87	Albalatillo 3	3.92	8.8	8.4	30.6	68.0	34.41	15.86	15.34	338.40	252.00	97.64	3.8	0	85.7	10.74	1.03	2.58
709/87	Albalatillo 1	3.84	9.0	8.7	22.3	55.0	20.81	6.83	8.77	205.40	184.00	40.18	8.6	0	73.5	10.60	0.78	4.58
710/87	Albalatillo 2	4.65	8.8	8.6	40.8	59.5	30.89	15.37	23.03	330.86	300.00	53.19	4.1	0	75.5	11.90	0.67	5.64
711/87	S. Lorenzo F car. 50 cm	3.55	–	8.3	33.0	60.0	32.89	128.74	87.34	135.21	184.30	147.20	3.4	0	13.1	10.70	1.47	1.25
712/87	Pompenillo ↑75 FFCC	2.56	8.6	8.3	12.4	64.5	20.70	14.64	27.36	167.39	176.00	19.52	2.7	0	36.5	10.10	0.54	9.01
713/87	Pompenillo ↑100 FFCC	2.91	8.8	8.3	15.5	83.3	12.79	12.20	16.60	88.69	94.50	20.87	1.8	0	23.4	9.20	0.73	4.52
714/87	Grañen cantera 4m↑ Paleocanal	0.91	8.5	8.4	26.7	73.0	6.09	10.49	14.71	38.26	48.30	10.94	3.1	0	10.8	-	0.71	4.41
715/87	Grañén cantera 2m↓ Paleocanal	1.86	–	8.0	12.1	73.5	13.40	41.70	47.70	50.47	68.10	56.4	3.4	0	7.5	-	0.87	1.21
716/87	Ballerias canal 150 cm Sup. ↓	1.04	9.6	9.0	36.8	39.0	15.10	7.80	6.60	136.08	106.70	32.4	8.0	0	50.7	-	1.18	3.29
167	Lutita Grañen	1.16	8.4	8.4	28.3	53.0	9.26	27.11	3.73	60.56	61.64	25.71	5.3	0	15.4	-	7.27	2.40
168	Lutita ctra Robres km 56	1.05	–	8.8	26.9	80.5	12.42	12.20	104.20	53.00	68.30	100.00	4.8	0	6.9	-	0.12	0.68
169	Arenita	0.27	8.7	8.5	36.0	36.5	2.86	11.40	7.18	9.10	17.20	8.39	4.0	0	3.0	-	1.59	2.05
MS	Montesusin ↓100 cm	1.61	8.5	8.4	32.6	-	7.65	15.90	24.70	58.90	46.60	45.5	3.6	0	13.1	-	0.64	1.02
PO	Grañen Pompenillo	-	-	-	-	47.0	15.40	2.00	20.00	156.0	158.40	38.00	2.7	0	47.0	-	0.10	4.17

La mineralogía de las lutitas, evaluada a nivel semicuantitativo a partir de los diagramas de rayos X en polvo, indica un 87% de minerales laminares, 8% de cuarzo y 5% de feldespatos.

La mineralogía de arcillas presenta un predominio de arcillas micáceas (80-90 %), clorita (10-20 %), no hay minerales expandibles. El diagrama de importancia de espectrometría infrarroja (Fig. 7) muestra la escasa importancia de la caolinita.

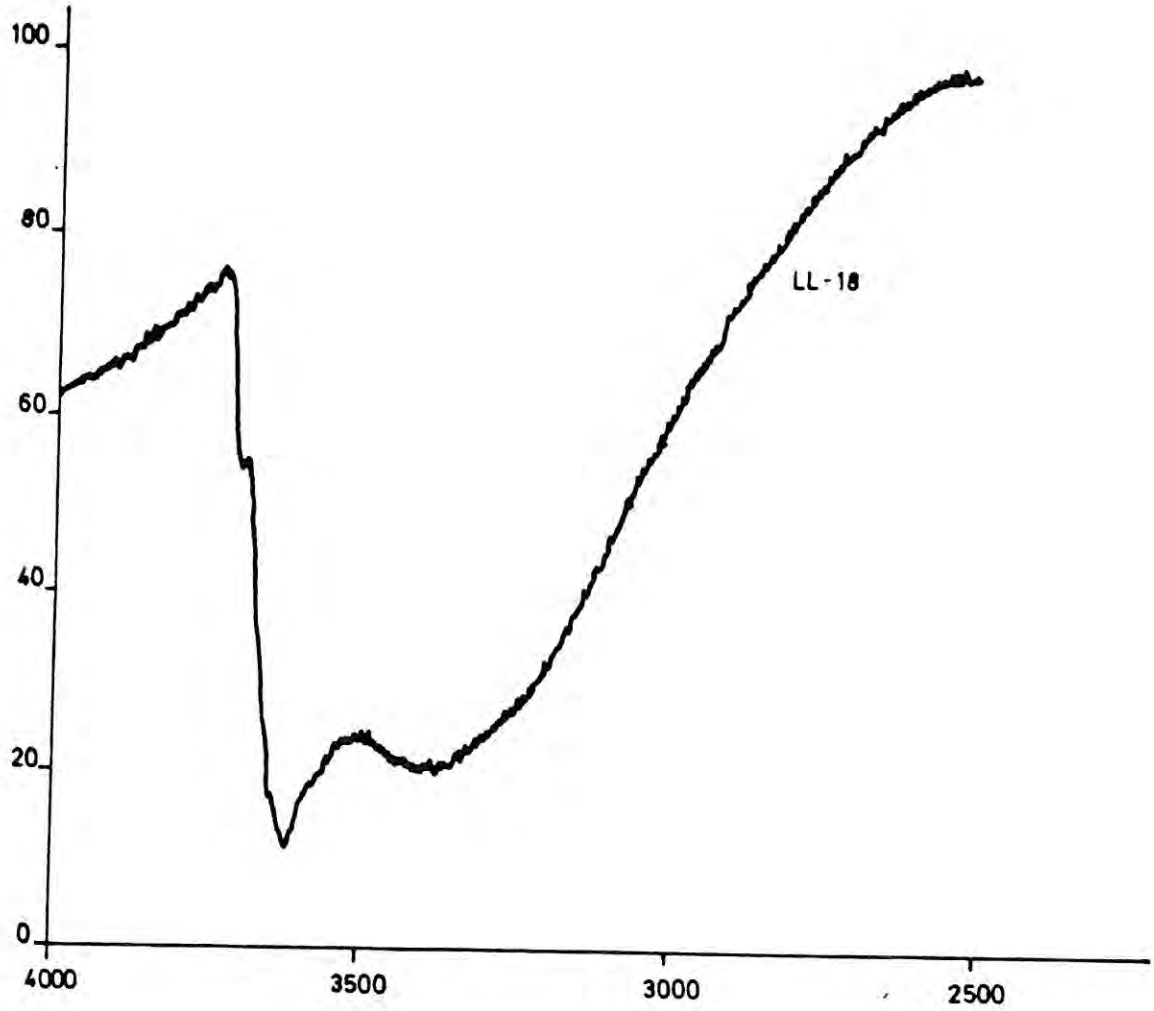


Fig. 7.- Diagrama de espectrometría infrarroja: Muestra la escasa presencia de caolinita.

Se observa que los contenidos en carbonato cálcico son altos ($\bar{x}$ = 23.6 ± 8.1, n = 27). La caracterización de la salinidad utilizando la técnica clásica de pasta saturada (Richards & al. 1954, 1969), resulta de interés para poder comparar con los resultados correspondientes a suelos derivados de estas lutitas, dejadas en superfície a causa de las nivelaciones.

Los niveles de salinidad de las lutitas están entre 1.42 y 48.5 dS/m a 25 °C, un 89,7% de las muestras tienen valores superiores a 4 dS/m a 25 °C (Cuadro nº 3); siendo el valor medio 16,2 dS/m a 25 °C. Por lo que respecta a la estimación de la sodicidad, los valores de SAR se sitúan entre 0.7 y 85.7, superando el 72.4% el valor de 13. (Cuadro nº 4).

Cuadro nº 3.- Estudio de frecuencias de valores de CEe en lutitas.

CE es	Frecuencias		Frecuencias acumuladas			
dS/m a 25 °C	rel.	abs.	abs.	rel.	abs.	rel.
< 4.00	3	10.3	29	100.0	3	10.3
4.01-10.00	6	20.7	26	89,7	9	31.0
10.01-20.00	10	34.5	20	69.0	19	65.5
20.01-30.00	6	20.7	10	34.5	25	86.2
> 30.00	4	13.8	4	13.8	29	100.0
	29	100.				

Cuadro nº 4.- Estudio de frecuencias de valores de SAR en lutitas.

SAR	Frecuencias		Frecuencias acumuladas			
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
< 7.0	5	17.3	29	100.0	5	17.8
7-12.9	3	10.3	24	82.8	8	28.6
13-24.9	8	27.6	21	72.4	16	55.2
25.0-49.9	7	24.1	13	44.8	23	79.3
> 50	6	20.7	6	20.7	29	100.0
	29	100.0				

El tipo de salinidad es preferentemente sódica, en un 93% de las muestras. La relación Ca^{+2}/Mg^{+2} es inferior a la unidad en un 82.8% de los casos (Cuadro nº 5), en lo referente a los aniones, la salinidad es de tipo clorurado y sulfatado, la relación Cl^{-}/SO_4^{-2} se halla entre 0.13 y 9.89, con 93% de muestras con valores superiores a uno (Cuadro nº 6). Destaca la ausencia de carbonatos solubles en todas las lutitas analizadas (Cuadro nº 2).

Cuadro nº 5.- Estudio de frecuencias de valores de Ca^{+2}/Mg^{+2} solubles en lutitas.

Ca^{+2}/Mg^{+2}	Frecuencias		Frecuencias acumuladas			
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
< 0.30	2	6.9	29	100.0	2	6.9
0.30-0.49	9	31.0	27	93.0	11	37.9
0.50-0.74	9	31.0	18	62.0	20	69.0
0.75-1.00	4	13.8	9	31.0	24	82.8
> 1.00	5	17.3	5	17.3	29	100.0
	29	100.0				

Cuadro nº 6.- Estudio de frecuencias de valores de Cl^{-}/SO_4^{2-} en lutitas.

Cl^{-}/SO_4^{-2}	Frecuencias		Frecuencias acumuladas			
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
< 1.00	2	6.9	29	100.0	2	6.9
1.00-2.99	14	48.3	27	93.0	16	55.2
3.00-4.99	9	31.0	13	44.8	25	86.2
5.00-7.00	2	6.9	4	13.8	27	93.0
> 7.00	2	6.9	2	6.9	29	100.0
	29	100.0				

La reacción de las lutitas está entre valores de 8.0 y 9.4. (Cuadro nº 2). El pH en pasta saturada supera el valor de 8.4 en un 39,3 % de las muestras y el 17,9 % supera el valor 9.0 (Cuadro nº7)

Cuadro nº 7.- Estudio de frecuencias de valores de pH en pasta saturada en lutitas.

pH pasta	Frecuencias		Frecuencias acumuladas			
	absoluta	relativa	abs.	rel.	abs.	rel.
< 8.0	1	3.6	28	100.0	1	3.6
8.0-8.4	16	57.1	27	96.4	17	60.7
8.5-8.9	6	21.4	11	39.3	23	82.1
≥ 9.0	5	17.9	5	17.9	28	100.0
	28	100				

c. Materiales del Cuaternario.

Los materiales cuaternarios se presentan en plataformas, terrazas fluviales, depósitos de ladera y fondos. Los más antiguos recubren las plataformas o "sasos" y casi en su totalidad son gravas subangular-tabulares de calizas terciarias de la Formación Alcubierre.

Las terrazas del Flumen tienen gravas poligénicas subredondeadas. Su procedencia prepirenaica queda confirmada por la presencia de calizas fosilíferas, arenitas triásicas rojas y algunas liditas. En cuanto a su comportamiento hidráulico debe destacarse la elevada tasa de infiltración y baja capacidad de retención de humedad, acordes con el predominio de elementos gruesos. Los materiales de los depósitos de ladera son heterogéneos, formados por arenas, limos y gravas. Proceden de los materiales cuaternarios de las superfícies superiores y de los materiales terciarios de las vertientes.

En los fondos aparecen paquetes sedimentarios claramente laminados, a menudo de varios metros de potencia. Están formados por capas cuyo espesor va de centimétrico a submilimétrico,lo que confiere al material un aspecto que ha sugerido el denominarle "hojaldre". El estudio detallado de este material ha puesto de manifiesto que se trata de capas limosas y arcilloss alternantes, si bien predominan las primeras.

Estas diferencias granulométricas han podido ser puestas de manifiesto en lámina delgada y reflejan la diversidad de condiciones sedimentarias en las que se originó este material.

Los muestreos en campo no permiten separar ambos materiales por lo que los análisis granulométricos clásicos enmascaran la realidad.

Los análisis granulométricos indican el predominio de la fracción limo, con más del 50%, seguida de la arcilla. Las arcillas finas (ø < 0.2 µm) suponen aproximadamente un 15% del total (Cuadro nº 8).

Las capas arcillosas son aparentemente no carbonáticas al microscopio petrográfico, mientras que en las capas limosas hay un predominio de cuarzo y carbonato cálcico. En el seno de estos paquetes sedimentarios hay inclusiones de curepo con granulometrías más gruesas (arenas o gravas) cuya continuidad lateral es muy variable. Características destacables de estos materiales son su prácticamente nula conductividad hidráulica vertical y la baja consistencia cuando se satura de agua.

Cuadro nº 8.- Granulometría de los materiales sedimentarios laminados (hojaldre).

Referencia Textural	2000 / 500	500 / 50	50 / 20	20 / 2	<2	Clase USDA
	%					
Grañén A-1	0.2	8.7	10.4	44.0	36.7	FAcL
Grañén A-2	3.6	21.8	6.2	39.5	28.9	FAc
Grañén A-3	0.2	75.7	10.1	7.6	6.4	FAr
Barranco de las Lastras A-1	0.0	0.1	7.8	42.9	49.4	AcL
Barranco de las Lastras A-2	0.0	0.6	7.2	61.0	31.2	FAcL
Barranco de las Lastras A-3	0.0	0.1	0.7	41.0	58.2	AcL
Barranco de las Lastras B-1	0.0	0.1	0.9	46.6	52.4	AcL
Barranco de las Lastras B-2	1.3	49.7	23.7	16.6	8.7	F
Barranco de las Lastras B-3	0.3	20.2	29.0	36.5	14.0	FL

A partir del análisis de 9 muestras de hojaldre procedentes de tres localizaciones diferentes a lo largo del Barranco de Las Lastras , situado entre Grañén y Fraella, en zonas próximas a los perfiles FR-1 y FR-2 se caracterizan químicamente estos materiales (Cuadro nº 9). Las conductividades eléctricas están comprendidas entre 1.4 y 24.36 dS/m a 25 °C con un valor medio de 10.3 dS/m a 25 °C. Más de la mitad de las muestras tienen niveles de conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada inferiores a 7 dS/m a 25 °C.

El valor de SAR medio es de 59.0 con su máximo de 95.6 y su mínimo de 16.0. La salinidad catiónica es preferentemente sódica en todas las muestras. Los valores de pH, tanto en la relación (1:2.5) como en pasta saturada, indican condiciones fuertemente alcalinas, con intervalos de 9.3 a 10.6 y de 8.8 a 10.3 respectivamente. El Ca CO_3 equivalente tiene unos valores de x = 20.5 ± 5.6, n= 9.

Cuadro nº 9 .- Características analíticas de materiales laminados (Hojaldre)

Ref	pH (1:2.5)	M.O. %	C.E. (1:5) dS/m a 25 °C	Clase Textural (USDA)	% $CaCO_3$ equiv	Hs %	pH pasta	$C.E._e$ dS/m a 25 °C
Grañén A-1	9.3	0.1	3.37	FAcL	24.0	65.5	8.8	24.36
Grañén A-2	9.7	0.1	1.80	FAc	23.7	34.3	9.5	20.10
Grañén A-3	9.6	0.1	0.80	FAr	27.0	48.5	-	6.8
Lastras A-1	10.3	0.2	0.98	AcL	15.8	49.6	10.0	4.8
Lastras A-2	10.5	0.1	0.63	FAcL	23.5	42.0	9.6	3.3
Lastras A-3	10.3	0.1	0.59	AcL	18.0	48.7	9.3	1.5
Lastras B-1	10.2	0.2	0.50	AcL	17.0	45.3	9.2	1.4
Lastras B-2	10.4	0.1	1.00	F	26.5	33.4	10.3	9.6
Lastras B-3	10.6	Imp	0.54	FL	9.1	28.3	10.3	4.5

EXTRACTO DE PASTA							
Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	SAR	Cl^{-}	CO_3^{-2}	HCO_3^{-}	SO_4^{-2}
6.3	5.7	234.3	95.6	198.2	0.0	5.6	26.8
6.3	7.3	239.6	91.6	176.2	0.0	9.2	29.5
1.9	3.1	70.1	47.5	45.5	0.0	5.8	19.6
0.8	1.1	47.0	50.2				
0.6	1.0	27.9	33.0				
0.4	1.0	16.6	21.5				
0.5	0.6	11.9	16.0				
2.1	1.6	100.1	73.6	53.4	12.2	11.9	28.8
2.4	2.6	44.2	28.0	6.9	13.0	14.3	16.1

La comparación entre la salinidad de las lutitas y la del hojaldre (Fig. 8) permite afirmar que si bien las primeras son salino-sódicas, al ser meteorizadas, erosionadas y depositadas en forma de hojaldre, se produce un proceso de sodificación, además de una granoclasificación. El proceso de formación de hojaldre puede observarse en la zona en las áreas de depósito de materiales aportados por la escorrentía superficial.

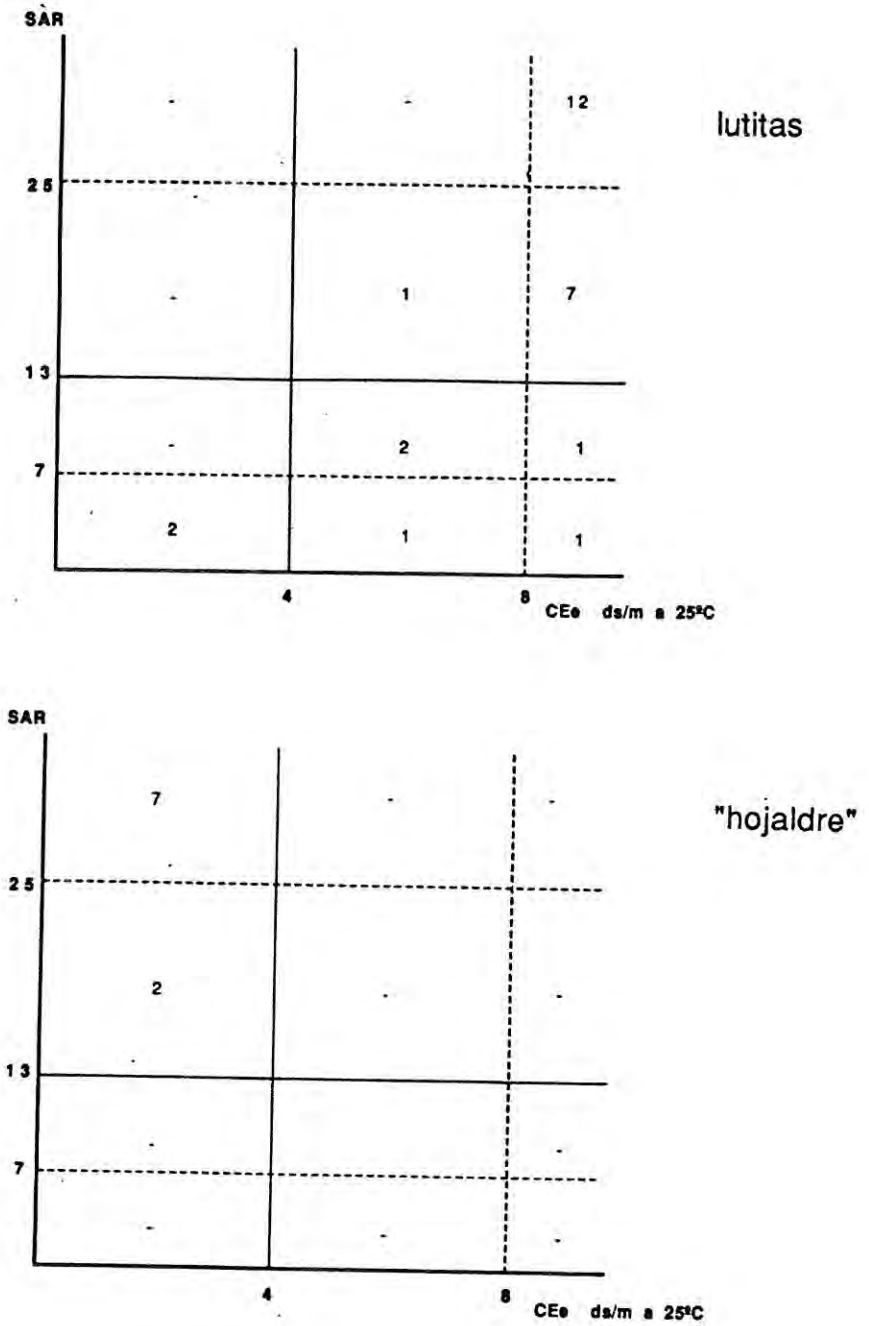


Fig.8.- Salinidad-sodicidad de lutitas y de material laminado (hojaldre): se observa que de unas condiciones salino-sódicas en lutitas se pasa a unas sódicas en el hojaldre (entre paréntesis el número de muestras)

La mineralogía de arcillas señala un predominio absoluto, mayor del 75%, de los minerales laminares y dentro de éstos el mayor porcentaje relativo es el de la ilita con mucha menor cantidad de cloritas y pirofilita, así como trazas de caolinita (Fig.9). Otros minerales significativos son cuarzos y feldespatos (Cuadro nº 10).

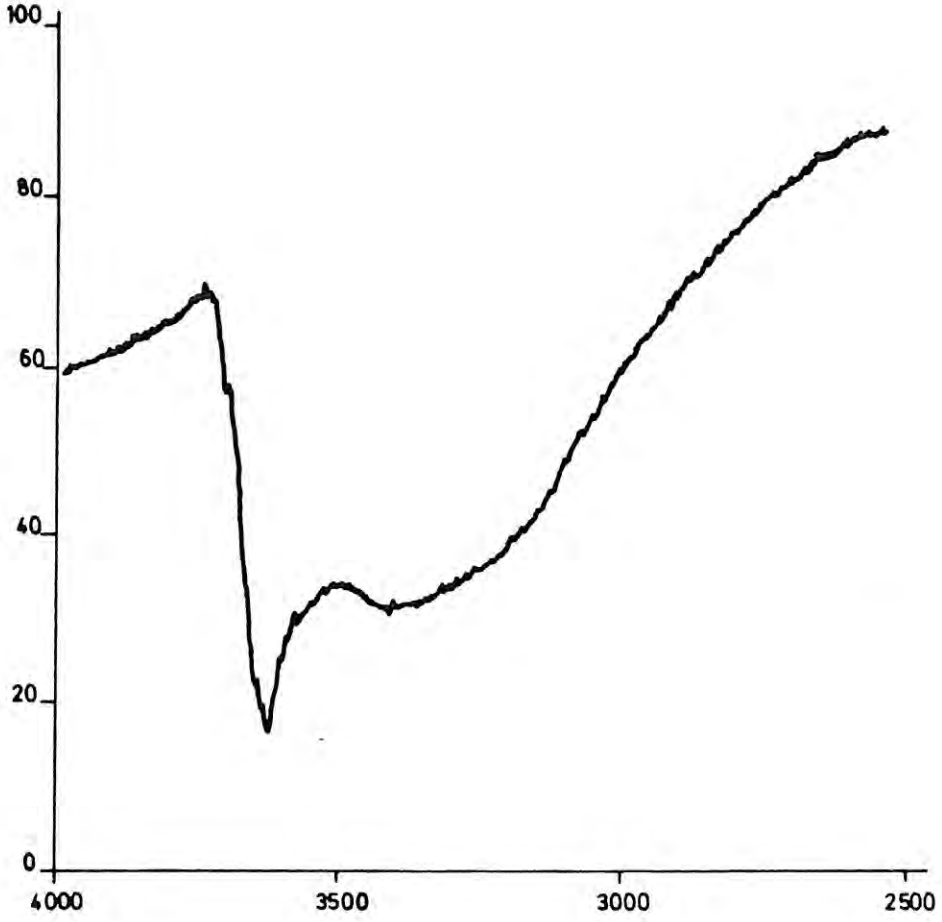


Fig. 9.- Diagrama de espectrometría infrarroja.

Cuadro nº10.- Minerales de la Fracción arcilla (ø < 2 mm) (Hojaldre) (composición semicuantitativa, porcentaje relativo en peso).

MINERALES LAMINARES	CUARZO	FELDESPATO	GOETHITA	ILITA	CLORITA	PIROFILITA	CAOLINITA
75	17	7	1	70	3	2	Tr
84	7	7	1	80	3	2	Tr

2.3. Geomorfología.

El modelado de la zona queda controlado por tres factores principales: litología y estructura (Ap. 2.2) y clima (Ap. 2.4). Cabe destacar la importancia de la erosión fluvial, el carácter moderado de la meteorización física y la escasa meteorización química.

El control litológico sobre las formas es más importante que el de la estructura. La distribución relativa y las potencias de los materiales areníticos y lutíticos han jugado un papel primordial en la elaboración del relieve, con la excavación de la cubeta presomontana y el realce diferencial de los interfluvios con materiales más competentes. Así, entre los relieves estructurales de tipo tabular de la Sierra de Alcubierre al sur y al oeste y los contrafuertes somontanos del noreste, con potentes bancos de arenitas, se extiende la depresión de Sariñena (Mensua & al. 1977) excavada a favor de materiales predominantemente lutíticos de la Formación Sariñena. Sobre los contrafuertes citados se conservan depósitos pliocuaternarios.

Por otro lado, la incidencia tectónica en la génesis del relieve es muy escasa (Rodriguez-Vidal, 1986). Sólo una suave tectónica de plegamiento y fracturación afecta a los materiales miocenos (Quirantes, 1978).

Desde un punto de vista descriptivo, las principales formas del paisaje son: las plataformas estructurales dominantes de la Sierra de Alcubierre, las plataformas residuales cuaternarias, las vertientes y los fondos (Fig.10)

a. Plataformas estructurales dominantes.

Las plataformas estructurales de la Sierra de Alcubierre se han desarrollado a favor de la potente serie carbonatada neógena. Se trata mayoritariamente de calizas con algunas calcilutitas, arenitas y yesos. Constituye el techo del relleno terciario de la Depresión del Ebro (Quirantes, 1978).

Estos materiales han resistido la erosión pliocena y a lo largo del Cuaternario, dando un relieve en gradería, creando al norte de los mismos y hasta las arenitas del Somontano, un eje de erosión NW-SE, que se prolonga al E en el frente de cuesta de la Sierra de Sigena y al NW por las cuestas de la Violada, que recoge el drenaje de las Sierras Prepirenaicas oscenses y las dirigen al río Cinca (Alberto & al. 1983)

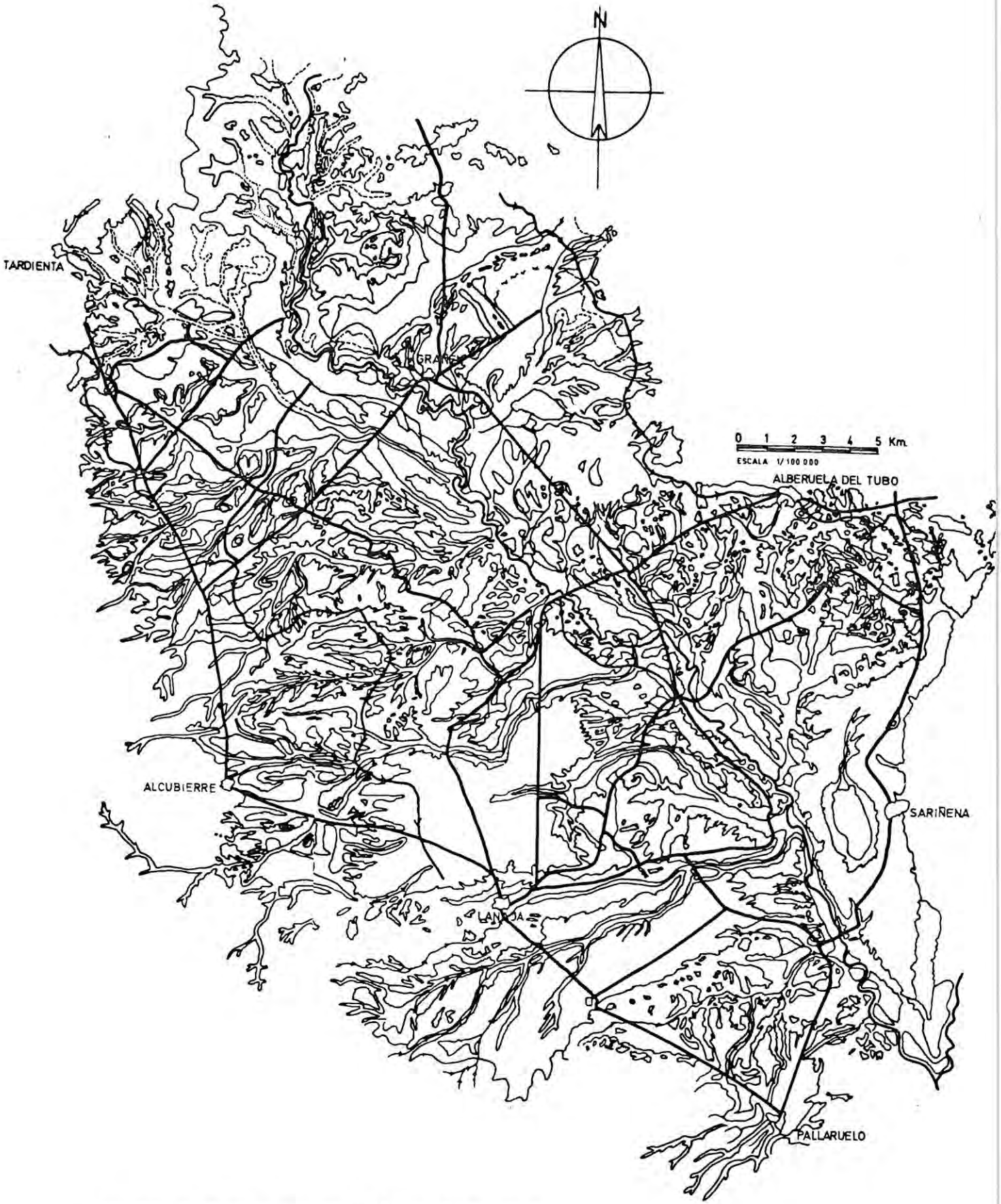


Fig.10.- Esquema geomorfológico de la zona.

b. Plataformas residuales.

Al final del Plioceno y principios del Cuaternario parece generalizado en el valle del Ebro una fase acumulativa, con varias pulsaciones, generando una serie de glacis entre los relieves predominantes y la línea de bases del Ebro, excavada por capturas remontantes desde el Mediterráneo. No se observan deformaciones postsedimentarias, ni a escala regional ni de afloramientos (Rodríguez-Vidal, 1986).

Dichos glacis estan formados por depósitos detríticos gruesos, de gravas y cantos, predominantemente calizos y que están encostrados. La disección de la forma por encajamiento de la red fluvial ha producido una inversión de relieve, por lo que las formas actuales son las de plataforma, que se han denominado plataformas residuales pliocuaternarias.

c. Vertientes.

Las vertientes son el resultado de diversos factores de control , tales como las condiciones climatológicas a lo largo del Cuaternario, la red fluvial que ha evolucionado al tiempo que su línea de base y las características propias de los materiales excavados. Se distinguen en campo tres tipos de vertientes atendiendo a la existencia o no de una cubierta detrítica sobre el sustrato terciario, vertientes desnudas, vertientes cubiertas y vertientes en glacis, aunque las dos primeras no resultan cartografiables a la escala a la que se ha trabajado.

Las vertientes desnudas se han formado sobre lutitas y areniscas miocenas subhorizontales, que, en ocasiones llegan a presentar un buzamiento de hasta 5° . En algunos casos este tipo de vertientes constituyen acantilados rocosos.

Las vertientes en glacis enlazan los relieves estructurales o las formaciones cuaternarias preexistentes y las líneas de drenaje actual, el río Flumen y sus barrancos afluentes. Serían asociables a los glacis funcionales descritos por Quirantes (1972). Están formados por materiales de naturaleza limo-arcillosa con algunas intercalaciones de arenas y gravas que rellenan canales o aparecen de forma dispersa.

En posiciones topográficas situadas al pie de las arenitas del Miembro Alberuela de Tubo se encuentran niveles con amplio desarrollo lateral y de varios metros de potencia. En algunos puntos fosilizan niveles con fauna de gasterópodos muy abundantes así como suelos con relativamente altos niveles de materia orgánica y actividad de fauna. En las zonas distales aparece una rítmica laminación.

Algunas vertientes corresponden a conos de deyección de barrancos de actividad subactual de características torrenciales.

d. Fondos: Depresión de Sariñena.

En la depresión de Sariñena se distinguen dos zonas, con extensiones importantes, que presentan relieves estructurales. La zona más noroccidental de la Depresión se caracteriza por las cuestas, desarrolladas ya sea sobre calizas (parte más occidental, alrededores de Tardienta), ya sobre calcarenitas (Vicién-Barbués, Callén). La morfología de estos estratos de arenita corresponde a cuerpos sedimentarios laminares de notable desarrollo lateral. En ambos casos las cuestas tienen dirección W-SW y los buzamientos son del orden de los 5°.

La zona más nororiental de la Depresión (San Lorenzo de Flumen) se caracteriza por los frecuentes paleocanales de arenita que compartimentaban intrincadamente la red de drenaje. A partir de la transformación en regadío se han eliminado muchos de estos relieves con explosivos y maquinaria pesada.

Sobre los materiales areniscosos aflorantes se desarrollan procesos de meteorización haloclástica (Rodríguez-Vidal, 1986; Tena & al. 1984).

2.4. Climatología.

El macroclima del Valle del Ebro ha sido descrito por García de Pedraza (1989) del siguiente modo: Es una de las regiones menos lluviosas de España, con precipitaciones del orden 320 mm al año. En el Valle del Ebro sólo llueve con vientos de E y SE de procedencia mediterránea. Los flujos de aire húmedo del Atlántico dejan sus lluvias en la cabecera, los Pirineos o las laderas Occidentales del Sistema Ibérico. En invierno, cuando hay calma anticiclónica la cuenca del Ebro se rellena de aire frío que queda allí embalsado; si está seco determina heladas, si está húmedo da lugar a nieblas de irradiación. Aguas abajo del río Ebro sopla el viento seco, frío y racheado del NW el "Cierzo" ; aguas arriba entrra el viento húmedo y templado del Mediterráneo, el "Bochorno", que trae los temporales de lluvia. Así, la rosa climática de los vientos para Zaragoza aparece notablemente deformada con gran predominio de frecuencias en el sentido NW-SE (según el curso del río).

En los meses de verano son frecuentes las tormentas que se generan en los sistemas montañosos de ambos lados de la cuenca: Sierra de Urbión, Moncayo y Ministra, o bien del Pirineo y sus estribaciones. Las tormentas suelen seguir en su trayectoria los valles de los afluentes del Ebro. Las horas de sol en el valle del Ebro son muy destacadas, del orden de las 2700 al año.

a. Localización de los observatorios.

La caracterización climatológica de la zona se ha realizado con la información básica proporcionada por la red de observatorios del I.N.M (Fig. 11). Los datos elaborados proceden de los observatorios que se indican en el Cuadro nº 11

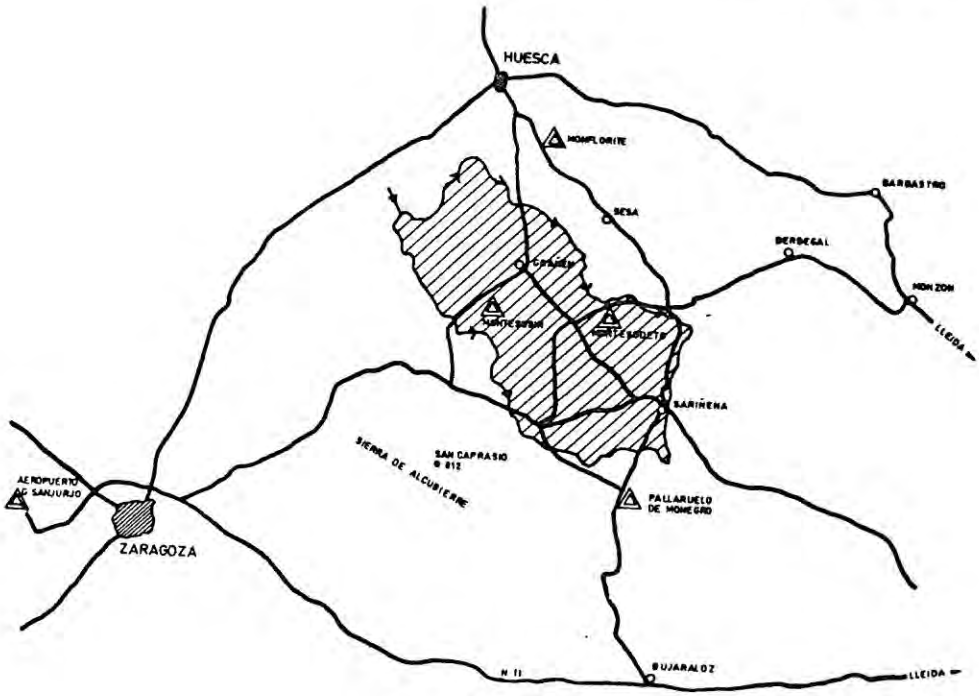


Fig. 11.- Localización de los observatorios meteorológicos (⚠).

Cuadro nº 11.- Localización de los observatorios utilizados para la caracterización de la zona.

Observatorio	Latitud (N)	Longitud(E)	Altitud(m)
Monflorite (Huesca)	42° 05' 00"	3° 21' 42"	541
Montesusín (Grañén)	41° 52' 58"	3° 17' 32"	350
Montesodeto (Grañén)	41° 53' 29"	3° 26' 00"	365

b. Series de datos.

La información utilizada para la elaboración del estudio se resume en el Cuadro nº 12 donde además se indican algunos datos elaborados que caracterizan los citados observatorios.

Cuadro nº 12.- Caracterización de los observatorios y serie de datos utilizados.

Observatorio	Distancia zona estudiada	Medias Anuales P mm	T ºC	ETo mm	Serie
MONFLORITE	15 Km	602	13.2	1240	P(1954-83) T(1969-83)
MONTESUSIN	8.5 km	497	14.8	1365	P,T(1969-86)
Montesodeto	8.3km	489	14.5	1490	P,T(1960-70)

* Según Penman (FAO 24, 1977)

c. Régimen de temperaturas.

El estudio para la caracterización térmica de la zona, se ha elaborado con los datos de los observatorios de Montesusín y Montesodeto.

c.1. Temperaturas medias.

En los Cuadros nº 13 y 14 se recogen las temperaturas medias de las máximas absolutas, de las mínimas absolutas, de las máximas, de las medias y de las mínimas. La temperatura media anual es de 14,8 °C, con una media mensual máxima en julio de 25,8 °C. En el período invernal, la temperatura media mensual más baja corresponde al mes de diciembre con 5,1 °C, aunque la temperatura media de las mínimas se da en enero con -1.2 °C. Los datos de temperatura del observatorio de Montesodeto, son sensiblemente inferiores, a pesar de la proximidad de los observatorios, tal como se indica en el Cuadro nº 12 lo que hace pensar en una ubicación inadecuada del observatorio de Montesusín. El período cálido, con temperaturas medias de las máximas superiores a los 30 °C, comprende los meses de junio, julio y agosto (Observatorio de Montesodeto).

Cuadro nº 13.- Régimen térmico. Montesusín (Grañén).

TEMPERATURA °C	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
T. media de máx. absolutas	18.7	21.1	26.6	30.8	34.9	39.8
T. media de mín. absolutas	-7.5	-6.1	-5.0	-1.1	2.4	6.9
T. media de máx.	11.8	14.4	18.4	22.0	26.5	32.0
T. media de mín.	-1.2	0.1	1.6	4.8	8.7	12.5
T. media de med.	5.3	7.3	10.0	13.4	17.6	22.2
PERIODO-VARIABILIDAD (período de retorno de 10 años)						
Período Cálido	-	-	-	-	-	*
Variabilidad período cálido	-	-	-	-	1	7
Período Frío	*	*	*	*	-	-
Variabilidad período Frío	10	10	10	10	2	-

	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
T. media de máx. absolutas	43.2	41.9	37.0	30.8	23.3	17.1	30.4
T. media de mín. absolutas	10.3	9.8	6.2	0.9	-4.7	-6.4	0.5
T. media de máx.	36.3	35.6	30.7	23.2	15.4	10.9	23.1
T. media de mín.	15.2	14.7	12.3	7.8	2.1	-0.7	6.5
T. media de med.	25.8	25.1	21.5	15.5	8.7	5.1	14.8
PERIODO-VARIABILIDAD (período de retorno de 10 años)							INTENSIDAD
Período Cálido	*	*	-	-	-	-	36.3 °C
Variabilidad período cálido	10	10	-	-	-	-	
Período Frío	-	-	-	-	*	*	-1.2 °C
Variabilidad período Frío	-	-	-	3	10	10	

Cuadro nº 14.- Régimen térmico. Montesodeto (Grañén).

TEMPERATURA °C	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
T. media de máx. absolutas	14.71	17.21	21.9	26.8	32.8	37.6	
T. media de mín. absolutas	-6.6	-5.6	-3.3	-0.1	4.9	8.5	
T. media de máx.	10.0	12.4	16.7	20.2	25.6	30.3	
T. media de mín.	1.2	1.0	3.4	6.0	9.9	14.3	
T. media de med.	5.6	6.7	10.0	13.1	17.7	22.3	
PERIODO-VARIABILIDAD (período de retorno de 10 años)							
Período Cálido	-	-	-	-	-	*	
Variabilidad período cálido	-	-	-	-	-	8	
Período Frío	*	*	*	*	-	-	
Variabilidad período Frío	10	10	9	7	-	-	
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
T. media de máx. absolutas	38.2	37.8	34.3	28.2	21.1	16.4	39.1
T. media de mín. absolutas	9.8	11.1	7.7	3.1	-1.5	-7.4	-8.2
T. media de máx.	32.5	32.2	28.4	22.5	15.2	8.9	21.2
T. media de mín.	16.1	16.2	13.4	8.7	4.2	-0.4	7.8
T. media de med.	24.3	24.2	20.9	15.6	9.7	4.2	14.5
PERIODO-VARIABILIDAD (período de retorno de 10 años)							INTENSIDAD
Período Cálido	*	*	-	-	-	-	3 meses
Variabilidad período cálido	10	8	2	-	-	-	
Período Frío	-	-	-	-	*	*	6 meses
Variabilidad período Frío	-	-	-	2	10	10	

c.2. Período de heladas.

El riesgo de heladas, se analiza utilizando los criterios de Papadakis y de Emberger. La evaluación del riesgo de heladas según criterio de Papadakis se basa en considerar los períodos con valores de temperaturas medias de las mínimas absolutas inferiores a los valores de referencia establecidos. En el Cuadro nº 15 se indican los citados períodos para los datos elaborados del observatorio de Montesusín.

Cuadro nº 15.- Períodos establecidos con el criterio de Papadakis.
(Observatorio de Montesusín)

Tipo de Período	T. med.min.abs.	DURACION
P. Medio de Heladas	< 0 ° C	Nov-Abr
P. Med. Libre de Heladas	> 0 ° C	May-Oct
P. Disponible Libre Heladas	> 2 ° C	May-Sep
P. Mínimo Libre de Heladas	> 7 ° C	Jul-Ago

Período extremo de heladas: 24 Octubre al 26 Abril.
Período medio de heladas: 10 Noviembre al 1 Abril.

Según criterio de Emberger para evaluar el riesgo de heladas se utiliza la temperatura media de las mínimas. Se establecen los períodos que se indican en el Cuadro nº. 16. El período frío comprende los meses con temperaturas medias de las mínimas inferiores a los 7 °C, y va de noviembre a abril.

Cuadro nº 16.- Períodos establecidos con el criterio de Emberger. (Observatorio de Montesusín).

RIESGO DE HELADAS	T. MED. MIN.	DURACION
Seguro	< 0 °C	Ene, Dic.
Frecuente	< 3 °C	Feb, Mar, Nov.
Poco Frecuente	3-7 ° C	Abr.
Muy poco frecuente	>7 °C	May a Oct.

d. Régimen de las precipitaciones.

d.1. Precipitaciones medias y variabilidad.

La pluviometría media anual es 497 mm, con un máximo mensual en los meses de mayo (54.1 mm) y septiembre (51.0 mm) y con una pluviometría media mensual mínima en el mes de julio de 26.6 mm. En los Cuadros nº 17 y 18 se indican las precipitaciones medias mensuales.

Cuadro nº 17.- Resumen de la pluviometría media mensual. (Observatorio de Montesusín, 1969-1986).

MES	PRECIPITACION (mm)
Enero	35.0
Febrero	31.6
Marzo	43.7
Abril	45.3
Mayo	54.1
Junio	45.5
Julio	26.6
Agosto	38.4
Septiembre	51.0
Octubre	43.9
Noviembre	45.2
Diciembre	36.8
Anual	497.1

Cuadro nº 18.- Resumen de la pluviometría media mensual. (Observatorio de Montesodeto 1960-1970)

MES	PRECIPITACION (mm)
Enero	32.8
Febrero	39.6
Marzo	43.4
Abril	39.6
Mayo	44.8
Junio	37.6
Julio	22.4
Agosto	36.5
Septiembre	58.6
Octubre	52.6
Noviembre	51.2
Diciembre	29.5
Anual	488.6

d.2. Lluvia efectiva.

Se ha determinado la lluvia efectiva media mensual, a partir de los datos medios disponibles. (Criterio USDA, 1969). Las cantidades obtenidas se indican en el Cuadro n°19.

Cuadro nº 19.- Resumen de las lluvias efectivas mensuales. (Observatorio Montesusín. (1967-1986).

MES	LLUVIA EFECTIVA (mm)
Enero	23.0
Febrero	22.0
Marzo	33.0
Abril	36.0
Mayo	43.0
Junio	40.0
Julio	26.0
Agosto	34.0
Septiembre	38.0
Octubre	32.0
Noviembre	30.0
Diciembre	22.0
Anual	379.0

d.3. Frecuencias de las precipitaciones.

En el estudio de la frecuencia de las precipitaciones, se han utilizado los datos diarios de precipitación de la serie disponible de 15 años del observatorio de Montesusín (1970-84). En los Cuadros nº 20 y 21 se indican los resultados del estudio de frecuencias de precipitación en un día. La notación utilizada en el citado Cuadro es la siguiente:

(1) Nº de orden.
(2) Intervalos de precipitación. Se han considerado intervalos de 5 mm.
(3) Nº de observaciones en cada intervalo (Ni).
(4) Frecuencia con que ocurre cada intervalo de precipitación.

$$Fi = \frac{Ni}{\Sigma Ni}$$

(5) Frecuencia con que cada intervalo es igualado o superado. Es igual a la suma de las frecuencias con que ocurren lluvias iguales o superiores.
(6) Frecuencia de precipitaciones inferiores al intervalo considerado.
(7) Período de retorno (T) en días. Es la inversa de la frecuencia.

$$T = \frac{1}{F}$$

(8) Período de retorno (T) en años.
(9) Nº de veces por año que la lluvia supera a una precipitación determinada.

$$(9) = \frac{365}{(7)}$$

Cuadro nº 20.- Frecuencia de precipitaciones en un día. Montesusín (Grañén)

Nº	Ai < Pi <Bi	Ni	Fi	Fi'	1-F'	Ti dias	Ti años	365/ti
1	< 1	4817	0.8787	0.9999	0.0001	1.00	0.0027	364.96
2	1-5	253	0.0462	0.1212	0.8788	8.25	0.0226	44.24
3	6-10	149	0.0273	0.0750	0.9250	13.33	0.0365	27.38
4	10-15	98	0.0179	0.0477	0.9523	20.96	0.0574	17.41
5	16-20	67	0.0122	0.0298	0.9702	33.56	0.0919	10.88
6	21-25	25	0.0045	0.0176	0.9824	56.82	0.1557	6.24
7	26-30	21	0.0039	0.0131	0.9869	76.33	0.2091	4.78
8	31-35	15	0.0028	0.0092	0.9908	108.69	0.2978	3.36
9	36-40	10	0.0019	0.0064	0.9936	156.25	0.4280	2.33
10	41-45	7	0.0013	0.0045	0.9955	222.22	0.6088	1.64
11	46-50	2	0.0004	0.0032	0.9968	312.50	0.8561	1.17
12	51-55	2	0.0004	0.0028	0.9972	357.14	0.9784	1.02
13	56-60	2	0.0004	0.0024	0.9976	416.67	1.1415	0.87
14	61-65	3	0.0006	0.0020	0.9980	500.00	1.3698	0.73
15	66-70	1	0.0002	0.0014	0.9986	714.28	1.9569	0.51
16	71-75	1	0.0002	0.0012	0.9988	833.33	2.2831	0.44
17	76-80	2	0.0004	0.0010	0.9990	1000.00	2.7397	0.36
18	81-85	0	0.0002	0.0006	0.9994	1666.66	4.5662	0.22
20	91-95	0	0.0000	0.0004	0.9996	2500.00	6.8493	0.14
21	96-100	1	0.0002	0.0004	0.9996	2500.00	6.8493	0.14
22	101-105	1	0.0002	0.0002	0.9998	5000.00	13.6986	0.073
23	106-110	0	0.0000	0.0000	1.0000	-	-	-

Cuadro nº21.- Frecuencia de precipitaciones en un día. Montesodeto(Grañén)

Nº	Ai < Pi <Bi	Ni	Fi	Fi'	1-F'	Ti dias	Ti años	365/ti
1	1	4684	0.8821	0.9999	0.0001	1.00	0.0027	364.96
2	1-5	237	0.0446	0.1178	0.8822	8.49	0.0233	43.00
3	6-10	151	0.0284	0.0732	0.9268	13.66	0.0374	26.72
4	11-15	90	0.0169	0.0448	0.9552	22.32	0.0612	16.35
5	16-20	63	0.0118	0.0279	0.9721	35.84	0.0982	10.18
6	21-25	24	0.0045	0.0161	0.9839	62.11	0.1702	5.88
7	26-30	21	0.0040	0.0116	0.9884	86.21	0.2362	4.23
8	31-35	14	0.0026	0.0076	0.9924	131.58	0.3605	2.77
9	36-40	7	0.0013	0.0050	0.9950	200.00	0.5479	1.83
10	41-55	5	0.0009	0.0037	0.9963	270.27	0.7405	1.35
11	46-50	2	0.0004	0.0028	0.9972	357.14	0.9785	1.02
12	51-55	2	0.0004	0.0024	0.9976	416.67	1.1416	0.88
13	56-60	3	0.0006	0.0020	0.9980	500.00	1.3699	0.73
14	61-65	2	0.0004	0.0014	0.9986	714.29	1.9569	0.51
15	66-70	1	0.0002	0.0010	0.9990	1000.00	2.7397	0.37
16	71-75	0	0.0000	0.0008	0.9992	1250.00	3.4247	0.29
17	76-80	1	0.0002	0.0008	0.9992	1250.00	3.4247	0.29
18	81-85	1	0.0002	0.0006	0.9994	1666.67	4.5662	0.22
19	86-90	1	0.0002	0.0004	0.9996	2500.00	6.8493	0.15
20	91-95	0	0.0000	0.0002	0.9998	5000.00	13.6986	0.07
21	96-100	1	0.0002	0.0002	0.9998	5000.00	13.6986	0.07

e. ETo y balance hídrico.

e.1. Evapotranspiración de referencia.

Se ha determinado la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo (FAO, 1977), utilizando los métodos climatológicos de Blaney-Criddle y de Penman, para los datos del observatorio de Montesusín. Los datos necesarios no disponibles en el citado observatorio como son, la humedad relativa, el viento y la insolación se han tomado de la estación de Monflorite. Los valores de ETo obtenidos para los citados observatorios se indican en el Cuadro nº 22.

Cuadro nº 22.- Evapotranspiración de referencia (ETo) calculada, de los observatorios de Montesusín y Monflorite.

MES	ETo Penman Monflorite	ETo Penman Montesusín	ETo B.Criddle Montesusín
Ene	20.4	14.9	18.6
Feb	43.2	40.2	27.2
Mar	81.9	83.4	51.8
Abr	117.7	134.8	91.8
May	157.2	177.1	105.4
Jun	182.5	210.4	156.9
Jul	221.2	255.5	174.5
Ago	184.8	214.5	157.1
Sep	119.0	131.7	150.0
Oct	68.4	67.3	78.4
Nov	28.8	25.3	27.0
Dic	15.0	10.1	15.5
ANUAL	1240.1	1365.2	1054.2

La ecuación de Penman utilizada para el cálculo de la ETo, da valores más altos, con un máximo mensual en julio de 255.5 mm equivalentes a 8.2 mm/d. Sin embargo, para el observatorio de Monflorite, el máximo mensual en julio es de 221.2 mm, equivalentes a 7.1 mm/d. Hay que destacar la mejor ubicación del observatorio de Monflorite , que proporciona temperaturas ligeramente inferiores.

e.2. Balance hídrico.

Se ha determinado el balance hídrico simplificado (Lluvia efectiva + / - reserva teórica de agua en el suelo - ETo (Penman)) para una reserva teórica de agua en el suelo (Cantidad de agua disponible), de 100 mm. Los resultados del balance se indican en el Cuadro nº 23.

Cuadro nº 23.- Balance hídrico elaborado con los datos del observatorio de Montesusín.

ETP/Pmm	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
ETo Penman	14.9	40.2	83.4	134.8	177.1	210.4
P. Media	35.0	31.6	43.7	45.3	54.1	45.5
Lluvia efectiva	23	22	33	36	43	40
P. efectiva-ETo	8.1	-18.2	-50.4	-98.8	-134.1	-170.4
Reserva (*)	39.5	21.3	0	0	0	0
Déficit	-	-	29.1	98.8	134.1	170.4
Exceso	-	-	-	-	-	-
Mes seco	-	-	*	*	*	*
D < 50 (**)	-	1	3	1	1	-
50 < D < 100	-	-	4	3	3	-
D > 100	-	-	-	5	6	10

(*) Valor máximo de la reserva = 100 mm
(**) Variabilidad del déficit: se considera un período de retorno de 10 años.

ETP/Pmm	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ETo Penman	255.5	214.5	131.7	67.3	25.3	10.1	1365.2
P. Media	26.6	38.4	51	43.9	45.2	36.8	497.1
Lluvia efectiva	26	34	38	32	30	22	379
P. efectiva-ETo	-229.9	-180.5	-93.7	-35.3	4.7	26.7	971.8
Reserva (*)	0	0	0	0	4.7	31.4	
Déficit	229.9	180.5	93.7	35.3	-	-	971.8
Exceso	-	-	-	-	-	-	
Mes seco	*	*	*	*	-	-	
D < 50 (**)	-	-	1	3	3	-	
50 < D < 100	-	-	4	4	-	-	
D > 100	10	10	5	-	-	-	

Los meses con déficit hídrico (reserva de 0 mm) son continuos, y van de marzo hasta octubre, en que los valores de las precipitaciones efectivas superan a la evapotranspiración.

Se ha elaborado un balance hídrico, utilizando la ETP de Thornthwaite para los datos del observatorio de Montesodeto. en el Cuadro nº 24 se indican los resultados del balance, con un déficit anual de 322 mm, muy inferiores, a los 972 mm del balance anterior, calculados con lluvia efectiva y con la ETo de Penman. Los meses con déficit hídrico, son también continuos y van de junio a octubre.

Cuadro nº 24.- Balance hídrico (Observatorio de Grañén).

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
P(mm)	33	40	43	40	45	38	22	37	59	53	51	30	491
ETP (mm)	10	15	31	50	91	130	150	138	100	57	25	7	804
P-ETP (mm)	23	25	12	-10	-46	-92	-128	-101	-41	-4	26	23	-313
Reserva (mm)	72	97	100	90	44	0	0	0	0	0	26	49	
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	48	128	101	41	4	0	0	322
Exceso (mm)	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9

La fórmula de Thornthwaite para el cálculo de la ETP no tiene en cuenta la velocidad del viento; en la zona tienen lugar con mucha frecuencia vientos de fuerte intensidad, "cierzo" y "bochorno", dando lugar a un aumento de la evapotranspiración.

f. Diagrama ombrotérmico.

El diagrama ombrotérmico correspondiente al observatorio de Grañen (Fig.12) muestran la existencia de un período seco prolongado durante el verano de unos 3 meses.

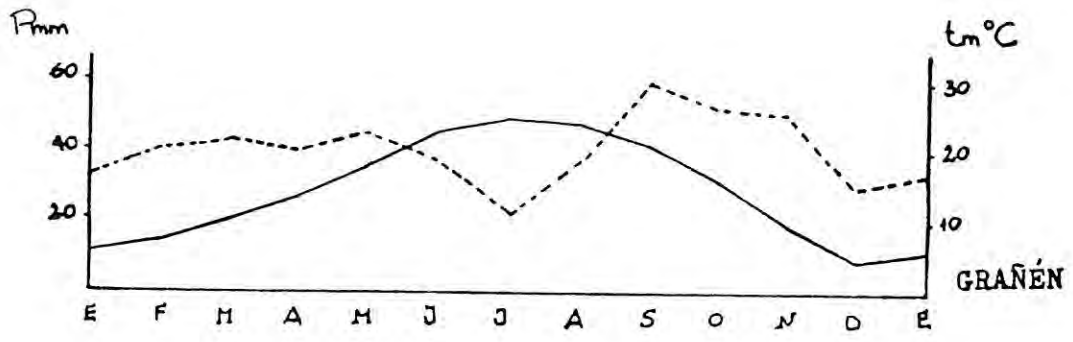


Fig. 12 . Diagrama ombrotérmico del observatorio Grañen.

Cuadro nº 25 .- Indice climático de Emberger.

INDICE CLIMATICO	Montesodeto (Grañén)	Monflorite (Huesca)	INTERPRETACION	
			Montesodeto (Grañén)	Monflorite (Huesca)
Emberger	46.49 m= -0.4	68.06 m= 1.29	Piso mediterráneo Templado	Piso mediterráneo Templado.

g. Indices y clasificación climática.

Los valores del índice climático de Emberger muestran que la zona corresponde al piso mediterráneo templado (Cuadro nº 25). El clima según los criterios de Papadakis y de Thornthwaite (Cuadro nº 26) es templado cálido, mediterráneo seco, avena fresco; y semiárido con poco o ningún exceso de agua (Montesodeto y Grañén) y seco subhúmedo con poco o ningún exceso de agua (Monflorite).

Cuadro nº 26.- Clasificación climática.

CLASIFICACION CLIMATICA	OBSERVATORIO		
	MONTESODETO (GRAÑEN)	Montesusín (GRAÑEN)	MONFLORITE (HUESCA)
PAPADAKIS:			
Régimen térmico	Templado cálido (TE)		
Régimen humedad	Mediterráneo seco (Me)		
Tipo invierno/verano	Avena/fresco (Av)/Arroz(0)		Avena fresco (Av)/Maiz(M)
THORNTHWAITE $C_1B'_2db'_4$	$DB'_2\ db'_3$ Semiárido con poco o ningún exceso de agua.		Seco subhúmedo con poco o ningún exceso de agua.

h. Régimen de temperatura del suelo.

Para determinar el régimen de temperatura del suelo se adopta el criterio de Soil Taxonomy (1975).

La temperatura media anual del suelo a 50 cm de profundidad es de 15.8 °C y la (Tmsv - Tmsi) > 5°C por tanto, el régimen de temperatura es Térmic.

i. Régimen de humedad del suelo.

El modelo Jarauta (1989) desarrollado a partir de medidas de perfiles hídricos en las Garrigas (Lérida), se ha aplicado para determinar el régimen de humedad de los suelos, a partir de los datos de los observatorios de Zaragoza, (Sanjurjo), Pallaraluelo de Monegros y Huesca (Monflorite). Dichos emplazamientos presentan una gradación por lo que a su aridez se refiere desde el más arido (Zaragoza) al que lo es menos, Monflorite que se suponía Xérico.

El observatorio de Pallaruelo, con series suficientemente largas, se considera adecuado para establecer el régimen de los suelos de Fraella y San Juan de Flumen.

Los resultados de la aplicación del modelo Jarauta a los tres observatorios se recogen en el Cuadro nº 27. Siguiendo la metodología seguida por JARAUTA (1989) se han considerado reservas de 50, 100 y 200 mm y 4 coeficientes de cultivo: cereal, almendro, viña y olivo, para el cálculo de la ETP según el método de Blaney-Criddle., calculándose el % de años en que se cumple el criterio A del modelo (sección control húmeda cuando la temperatura es > 5°C a 50 cm).

Para Zaragoza la aplicación del modelo Jarauta conduce a un Arídico, y para Huesca Xérico, en todas las hipótesis de reserva de agua y cultivo. En el caso de Pallaruelo resulta Xerico para las reservas de 100 y 200 mm, mientras que para suelos con una reserva de 50 mm es Arídico, con excepción del olivo que resulta Xérico.

Cuadro nº 27.- Régimen de humedad de los suelos: Aplicación del modelo Jarauta (1989).

OBSERVATORIO (serie empleada)	RESERVA AGUA DEL SUELO (mm)	CULTIVO	REGIMEN DE HUMEDAD	% AÑOS QUE SE CUMPLE CRITERIO "A"
PALLARUELO DE MONEGROS (1961-1980)	50	Cereal	Arídico	70
		Almendro	Arídico	55
		Viña	Arídico	50
		Olivo	Xérico	35
	75	Cereal	Arídico	55
		Almendro	Xérico	45
		Viña	Xérico	40
		Olivo	Xérico	25
	100	Cereal	Xérico	45
		Almendro	Xérico	40
		Viña	Xérico	30
		Olivo	Xérico	20
	200	Cereal	Xérico	40
		Almendro	Xérico	30
		Viña	Xérico	35
		Olivo	Xérico	15
MONFLORITE (HUESCA) (1966-1985)	50	Cereal	Xérico	40
		Almendro	Xérico	45
		Viña	Xérico	35
		Olivo	Xérico	
	75	Cereal	Xérico	40
		Almendro	Xérico	30
		Viña	Xérico	15
		Olivo	Xérico	15
	100	Cereal	Xérico	30
		Almendro	Xérico	20
		Viña	Xérico	15
		Olivo	Xérico	10
	200	Cereal	Xérico	20
		Almendro	Xérico	15
		Viña	Xérico	15
		Olivo	Xérico	5

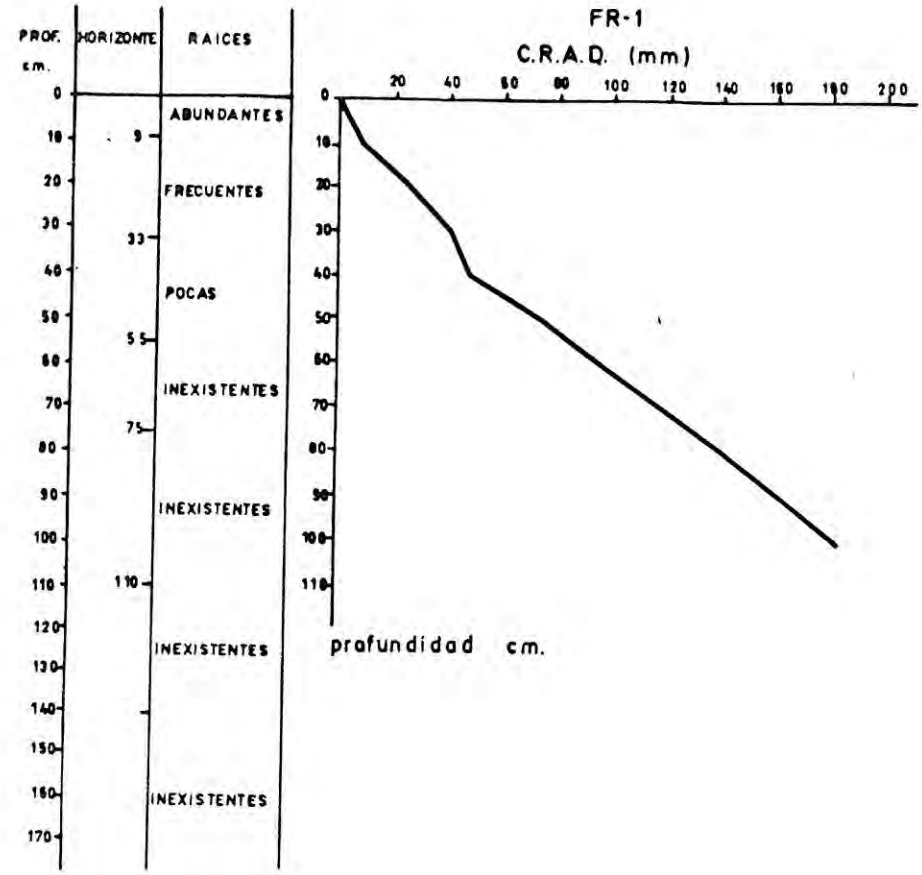
Criterio A = Sección control de humedad: húmeda cuando la temperatura es superior a 5° C a 50 cm).

Cuadro nº 27 (cont.).- Régimen de humedad de los suelos: Aplicación del Modelo Jarauta (1989).

OBSERVATORIO (serie empleada)	RESERVA AGUA DEL SUELO (mm)	CULTIVO	REGIMEN DE HUMEDAD	% AÑOS QUE SE CUMPLE CRITERIO "A"
ZARAGOZA SANJURJO (1951-1985)	50	Cereal	Arídico	86
		Almendro	Arídico	77
		Viña	Arídico	77
		Olivo	Arídico	69
	75	Cereal	Arídico	77
		Almendro	Arídico	69
		Viña	Arídico	69
		Olivo	Arídico	57
	100	Cereal	Arídico	74
		Almendro	Arídico	71
		Viña	Arídico	69
		Olivo	Arídico	57
	200	Cereal	Arídico	74
		Almendro	Arídico	66
		Viña	Arídico	66
		Olivo	Xérico	49

Criterio A = Sección control de humedad: húmeda cuando la temperatura es superior a 5° C a 50 cm).

El régimen de humedad de suelos obtenidos por aplicación de un modelo, en este caso Jarauta (1989), a los datos de un observatorio, tiene utilidad cartográfica en escalas no muy detalladas. Al discutir el comportamiento real de perfiles en que se dispone de información más amplia, puede acometerse una modelización más precisa. Así, para los suelos FR-1 y FR-2 se ha elaborado las curvas de capacidad de retención de agua disponible (CRAD) hasta una profundidad de suelo de 100 cm (Fig. 13).



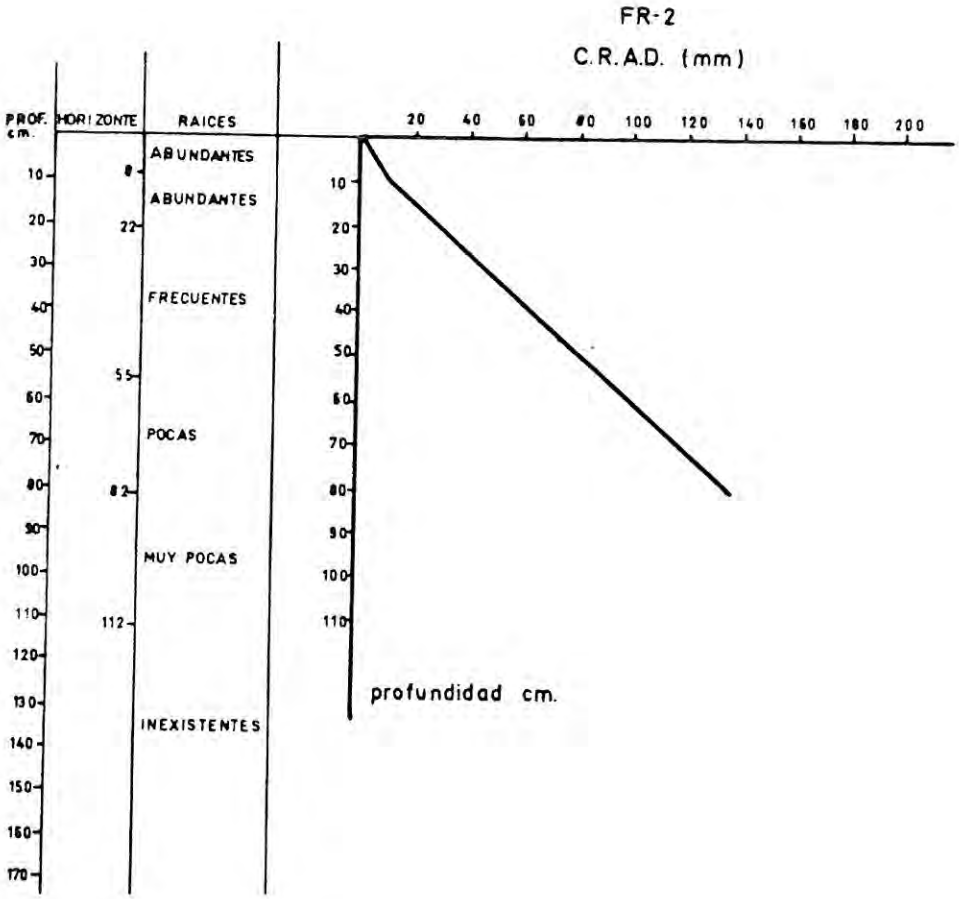


Fig. 13.- Capacidad de retención de agua disponible (CRAD) en función de la profundidad de los suelos FR-1 y FR-2 de Fraella (Huesca).

Las repercusiones ecológicas de la reserva hídrica del suelo se pueden estimar a partir de la profundidad de enraizamiento de los distintos cultivos o a partir de la sección control de humedad, que tiene uso taxonómico.

Las secciones control de los dos perfiles FR1 y FR2 pueden estimarse mediante la granulometría.

No obstante, en estos perfiles deben tenerse en cuenta las características del material hojaldre. En efecto, las pruebas de infiltración en campo indican su impermeabilidad , y las conductividades hidráulicas mediante el método Porchet dan valores despreciables. Además los tests de Emerson y de Loveday dan cuenta en el laboratorio de la inestabilidad de los fragmentos de este material.

Todo ello permite suponer un sellado casi inmediato en la parte superior del hojaldre, tan pronto como este es mojado. Además, la disposición en capas milimétricas alternantes de granulometrías controladas también dificulta la infiltración. La humectación sólo alcanza a una capa superior de pocos mm de espesor.

Por otro lado, la observación de campo, así como los pH y SAR confirman la no existencia de raíces en el seno del hojaldre.

Aunque el caso no está previsto entre los limitantes inferiores en la sección control de humedad en Soil Taxonomy, a efectos ecológicos debe tenerse el límite superior del hojaldre como máxima profundidad posible de la reserva de agua utilizada por las plantas.

j. La influencia del clima en el modelado del relieve y en la meteorización.

La relación entre los parámetros macroclimáticos y los procesos morfológicos esquematizada en los diagramas de Wilson(1968) y Peltier (1950) (Cuadro nº 28).

En dichos diagramas destaca la importancia de la erosión fluvial, el caracter moderado de la meteorización física y el caracter moderado a débil de la meteorización química, así como de la erosión eólica.

La clasificación de las regiones Morfogenéticas (C.P.S.) indica el predominio absoluto del modelado semiárido en la actualidad. Tanto a partir de datos medios mensuales para diversos observatorios meteorológicos de la zona y próximos, como haciendo su análisis más detallado para los datos mensuales del observatorio de Pallaruelo de Monegros, serie (1961-1980), Cuadro nº 29.

Cuadro nº 28.- Clasificación de las regiones morfogenéticas de algunos observatorio de la zona. Datos mensuales promedio.

OBSERVATORIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Almudevar	SA	P	P/ SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Grañén (Montesodeto)	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Grañén (Montesusín)	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	HT/SA	SA	SA
Huesca (Monflorite)	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Pallaruelo de Monegro	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Poleñino (Cantalobos)	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Sariñena	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA

SA = semiárido P= periglaciar HT = húmedo templado.

Cuadro nº 29.- Clasificación de las regiones morfogenéticas para Pallaruelo de Monegros. Probabilidad a partir de datos mensuales de la serie 1961-1980.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Periglacial	12.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
Humedo-Templado	15.0	10.0	10.0	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	50	15.0	15.0
Semiárido	67.5	60.0	80.0	75.0	90.0	80.0	65.0	70.0	75.0	65.0	80.0	55.0
Arido	5.0	25.0	10.0	20.0	5.0	20.0	35.0	30.0	20.0	30.0	5.0	15.0

Condiciones climáticas actuales y meteorización.

La meteorización de rocas y minerales es escasa, por la agresividad del clima, el índice de Bryssine queda comprendido en la zona de Flumen-Monegros entre 7886 para el observatorio de Monflorite y 6322 para el de Pallaruelo de Monegros, todos ellos considerablemente bajos.

Los suelos generalmente ricos en carbonatos, los pH mayores de 8, y la mineralogía de arcillas prácticamente constante en suelos, lutitas y colmataciones en sistemas de drenaje, indican unas condiciones de alteración química muy poco efectivas.

2.5. Vegetación.

La vegetación zonal o climácica de la cuenca media del valle del Ebro (Braun-Blanquet & O. Bolòs, 1957; O. Bolòs, 1973) está dispuesta en una serie de zonas, más o menos concéntricas, condicionadas por la aridez, que disminuye al alejarse del centro, desde los alrededores de Zaragoza.

En la zona central los condiciones climáticas fundamentalmente los fríos invernales impiden la existencia de la carrasca *Quercus rotundifolia* y la comunidad climácica es el *Rhamno-Quercetum cocciferae*, una maquia muy aclarada dominada por la coscoja (*Quercus coccifera*) y el espino negro (*Rhamnus lycides*), acompañados por un cortejo de especies adaptadas a soportar las bajas temperaturas de invierno, los calores y la sequía estival. Esta zona climácica está rodeada a su vez por el dominio del *Quercetum-rotundifoliae*, que en el N del valle del Ebro puede aparecer ya sobre los 300-400 m y donde la carrasca es el principal, cuando no único, componente del estrato arbóreo.

La zona del Flumen, en teoría (Braun -Blanquet & O. Bolòs, 1957) está dentro del dominio del *Rhamno-Quercetum cocciferae*, concretamente de la subasociación *cocciferetosum*. Esta subasociación se extiende desde Cataluña (Segrià) hasta Navarra (Las Bardenas), en tanto que el límite septentrional queda algo al S del arco Lérida-Huesca-Tudela y el meridional sigue más o menos la alineación Montes de Castejón-Sierra de Alcubierre-Fraga. Fitosociológicamente, y a grandes rasgos, está en contacto por el S con el dominio del *Rhamno-Quercetum cocciferae thuriferetosum,* una subasociación más continental y caracterizada por los importantes fenómenos de inversión térmica; por el SE con *Rhamno-Quercetum cocciferae pistacietosum*, con una fuerte influencia mediterránea y por el N con *Quercetum rotundifoliae*, que aparece en una zona ya más lluviosa y con una cierta diferencia altitudinal. Esta situación es, como ya se ha dicho, teórica; en la realidad fragmentos de carrascal aparecen bastante más al S de la línea Barbastro-Huesca, llegando casi a enlazar con los que existen en las estribaciones N de la Sierra de Alcubierre.

El matorral climácico está muy degradado en la zona. A las presiones tradicionales ejercidas sobre la vegetación -tala, fuego , pastoreo-, se ha añadido en los últimos años la roturación de nuevas superficies. Los matorrales del *Rosmarino-Ericion* se desarrollan actualmente sobre los suelos pedregosos, mientras que los prados del *Agropyro Lygeion* están sobre los limosos.

Como consecuencia de la actividad agrícola, las comunidades arvenses de regadío se han instalado en los cultivos : la alianza *Oryzo-Echinochloion oryzoidis* domina en los arrozales, *Panico-Setarion* en los otros cultivos -maíz, praderas, etc. En secano la asociación *Roemerio Hypecoetum penduli* (alianza *Secalion mediterraneum*) invade los campos de cereales. También como consecuencia de la actividad agrícola las comunidades halófitas y nitrohalófilas se han extendido: *Salsolo-Artemisietum herba-albae* predomina en los campos abandonados y margenes de campos de cultivo de secano; mientras que en las zonas húmedas están *Suaedetum brevifoliae* y *Suaedo-Salicornietum europeae*, esta última mejor adaptada a los sitios más salinos.

a. Vegetación halófila.

La distribución de las comunidades halófilas en los fondos de las depresiones de esta zona ha sido estudiada por Herrero (1982), que describe una catena de vegetación y suelos de un área salina de Callén. Según este autor (Fig. 14) en las zonas más elevadas, sin encharcamiento, se instala la comunidad *Suaedetum brevifoliae*, de unos 25 cm de altura y con un recubrimiento del 70%, aparecen, además de *Suaeda vera, Spergularia media* y *Puccinellia sp.* junto con algunos terófitos y, en los claros, *Frankenia pulverulenta*; en el otro extremo, las zonas bajas y con ciertos períodos de encharcamiento, aparece una comunidad monoespecífica con *Salicornia ramosissima*; apareciendo entre ambas zonas una transición gradual.

La vegetación responde a las condiciones ecológicas del suelo: niveles de salinidad-sodiciadad, nivel freático, etc, dando origen a diferentes comunidades que pueden servir como indicadores de las condiciones edáficas.

En el Cuadro nº 30 queda reflejado el inventario que en 23-VII-79 se realizó en el sitio de la calicata 7791 y sondeos estacionales 4791 y 8791.

Cuadro nº 30.- Inventario de vegetación en Suaedetum brevifoliae (23-VII-79).

Area m^2	20
Cobertura %	70
Altura de la vegetación cm	25
Suaeda vera J.F.Gmelin	3.5
Spergularia marginata (DC.) Kitt.	1.1
Puccinellia sp.	1.2

En los claros había *Frankenia pulverulenta L.*

Se trata de un *Suaedetum brevifolia* subasociación *typicum (=suaedetosum)* Br.-Bl. & O. Bolòs 1957.

La relativamente elevada presencia de *Spergularia marginata* que tiende a ocupar localizaciones bajas del *Suaedetum,* parece indicar una cierta humedad edáfica. Esto vendría confirmado por la vegetación a unos 15 m de distancia, donde también se hicieron sondeos estacionales (4792 y 8792). Allí hay un pastizal de terófitos constituído (23-VII-79) por *Salicornia ramosissima* J. Woods y *Parapholis* sp.

La presencia de *Salicornia ramosissima* se puede explicar por una microdepresión con un cierto período de encharcamiento. En este sentido se observó (24-VIII-79) la presencia de *S. ramosissima* en buen estado en el emplazamiento de la calicata, mientras que en la microdepresión sólo quedaban

las de la pasada temporada, muertas, y unas pocas muy raquíticas que apuntaban entre el barro.

Por otra parte, en zonas próximas (calicata 3790) con mayor recubrimiento y altura de *Suaeda brevifolia,* se desarrolla una estrato muscinal muy denso y numerosos terófitos, pero no aparece *Salicornia ramosissima.* En esta zona no se observó encharcamiento.

La catena de vegetación viene esquematizada en la Fig 14. En los Cuadros nº 31 a 33 (Herrero, 1982) se reflejan las características más relevantes de la composición de suelos con diversas comunidades vegetales.

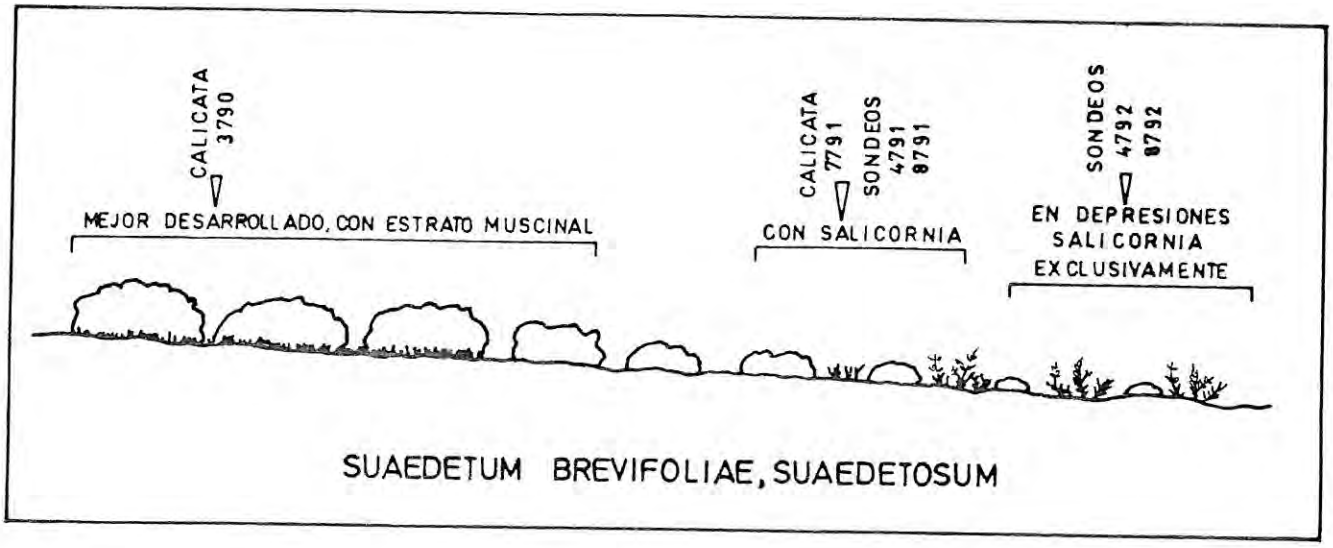


Fig. 14.-Paúl de Almuniente: Catena de vegetación y localización de los sondeos y calicatas.

Cuadro nº 31.- Caracterización química de los suelos con *Suaedetum brevifoliae.* Calicata 3790. Fecha 4-3-79

Nº	cm.	m. o. %	CO_3Ca %	pH 1:2,5	Humedad suelo seco al aire %	H.s.	C.E. mmho/cm a 25ºC.	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	SAR	PSI	Ca^{++}/Mg^{++}	Suma de cationes	CO_3H^- / $CO_3^=$	$SO_4^=$	Cl^-	CE/S
3790/1	0-10	3,18	23,83	8,22	2,20	64,0	1,97	6,0	1,73	11,5	5,85	6,9	3,468	19,2	8 / 0	1,2	10	102,3
2	10-19	2,73	23,29	8,34	2,60	69,3	4,41	9,5	6,25	30,9	11,01	13,0	1,480	46,7	7 / 0	34,6	5	94,5
3	19-54	1,80	23,29	7,94	2,80	73,0	13,30	30,0	22,50	89,1	31,40	31,0	1,333	141,6	6 / 0	35,6	100	93,9
4	54-76	1,58	21,09	8,19	3,30	75,5	21,51	40,8	57,25	160,9	22,98	24,6	0,711	258,9	5 / 0	88,9	165	83,1
5	76-85	1,26	19,32	8,26	3,30	77,2	22,60	40,5	61,50	173,9	24,35	25,7	0,658	275,9	4 / 0	106,9	165	81,9

Cuadro nº 32.- Caracterización química de un suelo con *Suaedetum brevifoliae.* Calicata 7791. Fecha 10-7-79.

Nº	cm.	m. o. %	CO_3Ca %	pH 1:2,5	Humedad suelo seco al aire %	H. s.	C.E. mmho/cm a 25ºC.	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	SAR	PSI	Ca^{++}/Mg^{++}	suma de cationes	CO_3H^- / $CO_3^=$	$SO_4^=$	Cl^-	CE/S
7791/1	0-7	1,20	22,10	9,10	2,2	60,0	99,83	36,0	74,0	1391,3	187,6	73,4	0,486	1501,3	20 / 0	581,3	900	66,5
/2	7-43	0,66	23,31	8,94	2,0	58,0	36,25	30,5	24,0	380,4	72,9	51,5	1,270	434,9	3 / 0	161,9	270	95,3
/3	43-84	0,38	25,70	9,05	1,9	60,5	32,71	29,0	23,5	391,3	76,4	52,7	1,234	443,8	4 / 0	229,8	210	73,7
/4	84-110	0,13	27,13	9,13	1,2	42,0	35,58	28,8	22,8	434,8	85,7	55,6	1,264	486,3	3 / 0	248,3	235.	73,2
/5	110-120	0,26	26,52	9,02	1,5	58,0	37,13	29,5	25,0	460,9	88,5	56,4	1,180	515,4	3 / 0	277,4	235	72,0
/6	138-145	0,25	22,84	8,99	1,8	62,0	37,45	32,2	16,7	469,6	94,9	58,1	1,925	518,6	3 / 0	275,6	240	72,2

Cuadro nº 33.- Caracterización química de un suelo con *Suaedo-salicornietum.* Sondeo 8792. Fecha 24-8-89.

Nº	cm.	m. o. %	CO_3Ca %	pH 1:2,5	pH pasta	H. s.	C.E. mmho/cm a 25ºC.	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	SAR	PSI	Ca^{++}/Mg^{++}	suma de cationes	CO_3H^- / $CO_3^=$	$SO_4^=$	Cl^-	CE/S
8792/1	0-10	-	-	9,24	9,16	51,5	80,50	41,5	118,0	1065,2	119,3	63,6	0,352	1225	7 / 0	502,7	715	65,73
/2	20			9,45		51,2	39,90	20,0	26,5	382,6	79,35	53,6	0,755	429,1	6 / 0	188,1	235	92,99
/3	30			9,37	8,86	53,0	26,97	15,0	12,5	293,5	79,15	53,6	1,200	321,0	7 / 0	139,0	175	84,00
/4	40			9,48	8,94	56,0	19,37	9,0	3,5	207,8	83,12	54,8	2,571	220,3	6 / 0	99,3	115 .	87,90
/5	50			9,61	8,99	59,0	13,35	6,5	inapr.	135,9	75,38	52,3	-	142,4	7 / 0	60,4	75	95,03
/6	60			9,61	8,94	50,5	12,44	6,5	inapr.	125,0	69,34	50,3	-	131,5	7 / 0	49,5	75	94,56
/7	70			9,78	8,94	47,5	9,43	6,0	inapr.	91,3	52,71	43,3	-	97,3	10 / 0	42,3	45	96,80
/8	80			9,55	8,82	42,0	15,21	8,5	4,3	147,8	58,40	45,9	1,977	160,6	11 / 0	64,6	85	94,7

2.5.2.- Vegetación en los perfiles FR-1 y FR-2.

Se ha realizado un inventario (Cuadro nº 34 de la vegetación en un relieve tabular inmediato al perfil FR-1 (Fig. 15). Este tipo de vegetación, incluible en la asociación *Agropyro-Lygetum*, es muy frecuente en vertientes no cultivadas, fuertemente acarcavadas y sobre materiales detríticos finos, muchas veces hojaldre.

El recubrimiento herbáceo y arbustivo es del 88%, y si sumamos el de musgos y líquenes se alcanza entre un 90 y un 100%.

Cuadro nº 34.- Inventario de la vegetación. Perfil FR-1 (23-VII-87). J. Pedrol.

Lygeum spartum	3
Thymus vulgaris	+
Sedum sediforme	1
Dactylis glomeratus	2
Scorzonera hispanica	+
Koeleria vallesiana	2
Elymus sp.	2
Atractylis humilis	+
Camphorosoma monspelliaca	+
Linum strictum	+
Allium sp.	+
Avenula bromoides	+
Bupleurum cf. *tenuissimum*	+
Filago piramidata	1
Bombycilaena erecta	1
Stipa sp.	1-2
Bromus hordeaceus	1
Crucianella angustifolia	1
Crucianella latifolia	+

Finalmente se recogen en los Cuadros nº 35 y 36 los inventarios en la zona del perfil FR-2 (Fig.15). Se trata de una comunidad vegetal presidida por terófitos subhalófilos.

Cuadro nº 35.- Inventario de la vegetación. Perfil FR-2 (23-VII-87). J. Pedrol

Hymenolobus procumbens
Rapistrum rugosum
Polygonum gr. arviculare.
Lolium italicum
Poligonum maritimum
Hordeum maritimus
Trifolium repens
Plantago lancieolata.
Lotus gr. corniculatus
Anthemis campestris
Puccinellia sp
Atriplex hastata
Beta maritima
Spergularia cf. diandra.

Cuadro nº 36.- Inventario de la vegetación en la zona afectada por salinidad de la parcela inmediata al perfil FR-2. J. Pedrol, 23-VII-87.

Hymenolobus procumbens	3
Lolium italicum	1
Puccinellia sp	2
Frankenia pulverulenta	+
Hordeum marinum	+
Polygonum gr. arviculare	+
Polygonum maritimum	+
Spergularia cf. diandra	+
Atriplex hastata	
Lygeum spartum	3
Thymus vulgaris	+
Sedum sediforme	1
Dactylis glomeratus	2
Scorzonera hispanica	+
Koeleria vallesiana	2
Elymus sp	2
Atractylis humilis	+
Camphorosoma monspeliaca	+
Linum strictum	+
Allium sps	+
Avenula bromoides	+
Bupleurum cf. tenuissimum	+
Filago piramidata	1
Bombycilaena erecta	1
Stipa lagascae & offneri	1-2
Bromus hordeaceus	1
Crucianella angustifolia	1
Crucianella latifolia	+

2.6. Introducción a los sistemas de cultivo de la zona.

Hay que resaltar la presencia de sistemas de cultivo de regadío propios de zonas templadas; destacan por su importancia el maíz, la alfalfa, el trigo y la cebada. La misma problemática de los suelos ha conducido al monocultivo de arroz en determinadas áreas y al establecimiento de praderas temporales y de cultivos forrajeros en otras.

Los sistemas de cultivo de secano son bastante marginales, y están dedicados a la producción de cereales de invierno, almendro, olivo y viñedo.

La intensificación de la producción se ha introducido con los sistemas de cultivo forzado, para la producción hortícola, principalmente pimiento para conserva.

a. Cultivos de regadío.

Casi la totalidad de la superficie regada está ocupada por cultivos herbáceos: maíz, cebada, trigo, alfalfa y, en menor medida, por paraderas temporales y girasol. Unas 3.000 ha están dedicadas a arroz. La cebada predomina en los suelos afectados por salinidad.

La mayor superfície cultivada en las zonas de saso, es actualmente el maíz. Las producciones son del orden de 10.000-12.000 kg/ha.

Los cultivos de frutales son escasos y para autoconsumo. Es opinión generalizada la deficiente aptitud de la zona para dichos cultivos.

El nivel tecnológico es de tipo medio, con un manejo de los cultivos muy estandarizado en la zona. Los principales problemas estriban en el manejo del suelo. El uso de enmiendas de tipo químico como el yeso, necesarias en los suelos con exceso de sodio, no son frecuentes en la actualidad.

Las técnicas de laboreo mínimo y de siembra directa no se practican en la zona. En los suelos afectados por salinidad es frecuente subsolar cada 2-3 años. Aperos como la vertedera deberían eliminarse en este tipo de suelos.

Es normal el control de malas hierbas en todos los cultivos excepto en los forrajeros. La quema de rastrojos se realiza en el cultivo de maíz, como control preventivo de algunas plagas. La paja se extrae como un subproducto más de la explotación, y en general no se realiza un picado y posterior enterrado. La aplicación de enmiendas orgánicas está limitada por su disponibilidad.

No es normal en la zona, la realización de análisis de suelos para controlar los niveles de fertilidad, siendo el criterio del agricultor y las empressas de fertilizantes de la zona los que condicionan el momento, la cantidad y el tipo de fertilizante.

El cultivo de arroz, bastante tecnificado, requiere una buena nivelación y refino del terreno, estando muy generalizado en la zona el uso de equipos con laser. La

semilla pregerminada, se siembra a razón de unos 250 kg/ha. Los rendimientos medios se pueden cifrar en unos 4.000 kg/ha, pero hay una gran variabilidad dentro del territorio y de unos años a otros. Son muy críticas las bajas temperaturas en mayo y la aparición de rociadas en los meses de julio y agosto.

Se le considera un cultivo alternativo que permite mejorar los suelos afectados por la salinidad. Estas opiniones deberían matizarse mediante experimentación y seguimiento detallados. La incorporación a la CEE ha modificado los mercados haciendo más atractivo económicamente su cultivo. Las zonas especialmente arroceras son: norte de Valfonda, depresión de Callén hasta Almuniente, fondos de Grañén, Curbe, Sodeto, San Lorenzo, Orillena y San Juan de Flumen.

Otros usos del suelo en regadío son las praderas temporales y los cultivos forrajeros, que permiten producciones del orden de 80.000-100.000 kg/ha de forraje verde en los suelos con mejores aptitudes. En suelos afectados por salinidad, los rendimientos pueden disminuir hasta en un 50%. Actualmente la producción forrajera está condicionada por la desaparición del agricultor-ganadero, siendo este último el que fomenta su cultivo.

En la zona se han realizado algunas plantaciones aisladas de especies resistentes a la salinidad que pueden constituir una vía para la recuperación biológica de suelos afectados por salinidad. La especie que ha resultado más prometedora en regadío es el picutín (*Puccinellia*).

La alfalfa, ecotipo "Aragón", es la especie forrajera más cultivada. El establecimiento es de 4-5 años, seguida por uno o varios años de cereal de invierno. Hay que destacar el elevado consumo de agua de la alfalfa, alrededor de los 1.000 mm, frente a otros cultivos más competitivos como el maíz, que tiene unas necesidades calculadas de 600 mm. En los suelos con buen drenaje se llegan a dar cinco cortes anuales. Entre los principales condicionantes climáticos, están las bajas temperaturas en primavera. Las producciones medias anuales, en suelos de saso, se sitúan alrededor de los 14.000 kg/ha de heno.

Los suelos con horizontes nátricos, caso del perfil FR-2, suelen tener en la alfalfa el cultivo más rentable, a pesar a no alcanzar las producciones óptimas. Es interesante esta situación por conseguir una cubierta herbácea permanente durante varios años que mejora la porosidad, el desarrollo radicular y el establecimiento de lombrices y otra edafofauna. La fase más crítica es el período germinación-nascencia, por encarado si se forma costra superficial y/o por asfixia si el riego no se maneja adecuadamente.

b. Cultivos de secano.

Se cultivan preferentemente cereales de invierno, mayoritariamente cebada y en menor proporción trigo. De forma aislada se presentan parcelas de veza-avena, de esparceta y de centeno. En la alternativa habitual entra el barbecho.

Las variedades de trigo más utilizadas son: Aragón 03, Estrella, Senatore y Pané247, con rendimientos de unos 1.200-1.500 kg/ha. Predominan las cebadas

de seis carreras, entre las que destacan: Hatif de Griñon, Ager y Albacete, obteniéndose producciones medias de unos 1.500-2.000 kg/ha. Actualmente se tiende al uso de variedades más precoces que permitan eludir la sequía al final del ciclo.

El almendro, se presenta en algunos casos en cultivo asociado, ocupando unas 400 has. Las principales variedades son la Desmayo Largueta y la Marcona. Las producciones son muy variables, por la incidencia de heladas primaverales, y van de 2-5 kg/árbol de almendra. Se comenta en la zona que cada cinco años hay uno bueno, dos regulares y dos de mala cosecha.

De la misma forma, el viñedo se encuentra en muchos casos en asociación. La superficie de este cultivo no llega a 200 has. Parece ser que a principios de siglo se cultivaban unas 500 has. La principal variedad cultivada es la Garnacha, con producciones de unos 2.000 kg/ha. El viñedo se localiza en los suelos pedregosos de los sasos. Fue frecuente el ahoyado para su plantación, lo que se detecta en la actualidad por el límite almenado del epipedión. La tendencia actual es el abandono.

El olivo ocupa unas 300 ha, y se cultiva en pequeñas parcelas de terrenos marginales, con una pedregosidad elevada y poca profundidad de suelo. La variedad más difundida es la Arbequina. La producción normal de aceitunas es de 3 a 5 kg/árbol. Las heladas invernales y las elevadas temperaturas del verano perjudican las escasas producciones.

3. PROCESOS DE SALINIZACION-SODIFICACION

3.1. Ciclo de salinización-sodificación.

La salinización de vertientes y fondos se debe a procesos de movilización de sales a partir de los materiales terciarios (lutitas), que actúan como centros de redistribución de salinidad (Cuadro nº 2) en un ciclo continental secundario, en la nomenclatura de Kovda.

Una peculiaridad importante de la zona reside en que la denudación de las lutitas ha dado lugar a un material laminado que se ha denominado hojaldre, que presenta un marcado caracter sódico (Cuadro nº 9). Este material sirve de eslabón intermedio en el ciclo de salinización-sodificación en este área. En secano el ciclo sería considerablemente más lento, pero sufrió una brusca activación con la llegada del agua de riego. El resultado se analiza en apartados posteriores.

La tecnología de suelos, aplicada a veces de forma empírica, ha logrado procesos rápidos de desalinización. Dos factores intervienen en el éxito de la operación, uno, las condiciones favorables del suelo (conductividad hidráulica elevada, presencia de yeso en el perfil, etc). El otro han sido las condiciones socio-económicas que han favorecido el que el agricultor no se viese estimulado a abandonar sus tierras.

En aquellos casos en que las características del suelo hacían inviable el empirismo, los fracasos han sido notorios, tanto de los agricultores como de técnicos. Estos procesos han conducido a suelos salino-sódicos e incluso a suelos sódicos.

3.2. Características de suelos de secano sobre hojaldre.

Se ha podido comprobar que el material cuaternario laminado, denominado hojaldre ocupa importantes extensiones del área estudiada. En el caso muy frecuente de que tales materiales hayan sido nivelados para su puesta en riego, los resultados han sido muy deficientes (Herrero & al. 1989). En la actualidad los suelos sobre hojaldre que permanecen en secano representan áreas minoritarias.

Los perfiles FR1 y FR2 corresponden a una de las áreas que permanecen en secano. El pedión FR2 está en las inmediaciones de parcelas transformadas en regadío, su morfología permite afirmar que no ha sido afectado por nivelaciones o lo ha sido de forma muy somera. Ello permite considerar que éste sería el estado de los suelos del área en secano y por ello su estudio ayuda a comprender los procesos que han sufrido suelos como el FR2 al ser puestos en regadío con nivelación.

La Fig. 15 muestra esquemáticamente la disposición en el paisaje de los pediones estudiados.

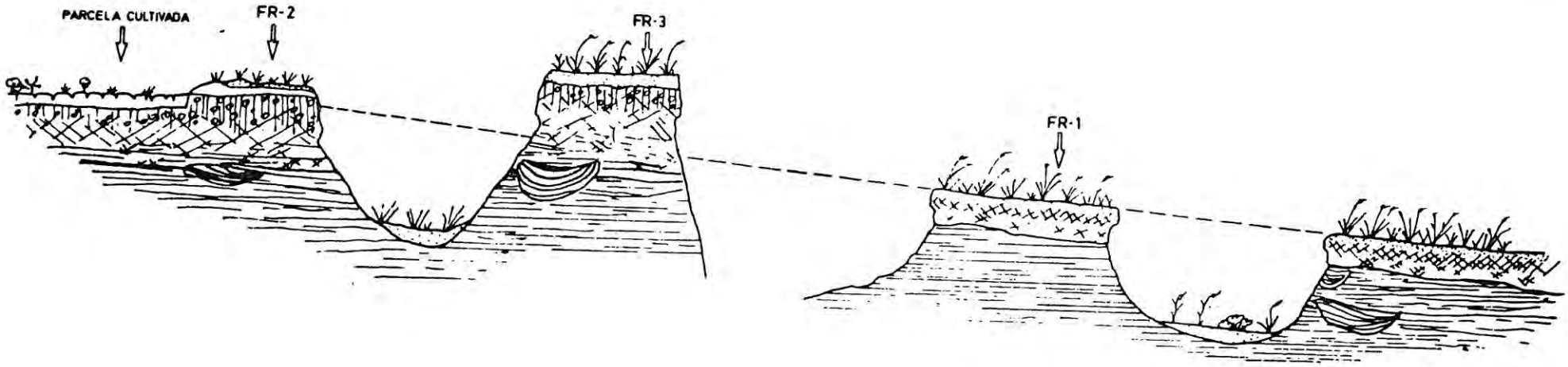


Fig. 15- Disposición en el paisaje de los perfiles FR-1, FR-2 y FR-3 (Fraella, Huesca), desarrollados sobre el material laminado cuaternario "hojaldre".

a. Macromorfología.

Las descripciones de campo de los perfiles FR1 y FR2 se recogen en los Cuadros nº 37 y 38 .

Cuadro nº 37.- Descripción del perfil FR-1 (Fraella, Huesca).

Pedión:FR-1. España, HU. **Localización:** Fraella; Paraje: Comunal. **Cartografía Topográfica:** I.G.N., 1:50.000, hoja lat 41 ° 46' 25", long 3° 40' 10", z= 322 m. **Teledetección:** 1:18.000, Identificación x = 12.5; y = 13.0. Localización en el fotograma 324 C-10. **Descrito por**: Rodríguez, R y J. Herrero. Fecha: 22-VII-87.
Agua del suelo: Nivel freático inaccesible. **Geomorfología:** Escala de observación, varios hectómetos; forma del relieve, ladera rectilínea; dinámica de la forma. erosión por cárcavas y procesos de sufosión, de fuerte intensidad; longitud de la pendiente, 300 m aprox., pendiente general y local, 2%; orientación, E; situación del perfil en la pendiente, tercio superior de la forma.
Pedregosidad superficial y afloramientos rocosos: No pedregoso. Sin afloramientos rocosos. **Material original:** Materiales detríticos terrígenos muy finamente estratificados. Cuaternarios. **Vegetación:** Albardinas, comunidad densa, con recubrimiento del 20% por estrato arbustivo y 70% por estrato herbáceo, Especies dominantes: *Ligeum spartum, Agropyrum cristatum, Stipa sp, Artemisia herba-alba y Salsola vermiculata.* Frecuentes tapices de líquenes. El inventario de vegetación se ha realizado en el relieve tabular contiguo. **Usos de Territorio:** Area improductiva. **Clasificación:** Torrifluvent xérico (S.S.S., 1975, 1987).

0-9 cm A1 Seco. Color de la matriz en húmedo 10 YR 5/6. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco arenoso. Estructura moderada, granular (compuesta), fina. Poco compacto, dureza (seco): débil. Materia orgánica, poca , no directamente observable. Actividad de la fauna, trurriculas, galerías rellenas, muy abundantes, galerías, frecuentes. Sistema radicular limitado por horizonte no penetrable (prof › 55 cm). Raíces de ø < 10 mm, abundantes, finas y muy finas, verticales, distribución regular, vivas y muertas. Porosidad global, alta. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCl(11%) respuesta alta, con $AgNO_3$(5%) respuesta nula, con Ba Cl_2(10%) respuesta nula. Límite inferior abrupto, plano. Epipedión ochrico. Muestra 805.

9-31/35 cm A2. Seco. Color de la matriz en húmedo 10 YR 6/4. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco limoso. Estructura fuerte, bloques subangulares, mediana. Estructura secundaria fuerte en formas debidas a la actividad de la fauna. Compacto, ligeramente duro.Materia orgánica, poca, no directamente observable. Actividad de la fauna, turrículas y galerías rellenas, muy abundantes; galerías, frecuentes y cámaras rellenas, pocas. Raíces de diámetro < 10 mm, frecuentes, finas y muy finas, sin orientación, distribución regular, muertas y algunas vivas. Porosidad global, alta. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCl (11%) respuesta alta, con Ag NO_3 (5%) respuesta nula, con $BaCl_2$ (10%) respuesta nula. Grietas pocas, verticales contínuas, cerradas. Límite inferior neto, plano. Epipedión ochrico. Muestra 806.

31/35-55 cm. C. Seco. Color de la matriz en húmedo 10 YR 8/4. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco limoso. Estructura sedimentaria muy débil, laminar, fina. Compacto. Duro. Actividad de la fauna, galerías rellenas frecuentes y galerías pocas. Raíces de ø < 10 mm, pocas, finas y muy finas, distribuidas preferentemente en bandas, muertas. Porosidad global, moderada. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCl (11%) respuesta alta, con Ag NO_3 (5%) respuesta media, con Ba Cl_2 (10%) respuesta media. Límite inferior neto, plano. Muestra 807.

55-110 cm. 2C. Seco. Color de la matriz en húmedo 10 YR 7/4, . En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Arcillo limoso. Estructura (sedimentaria), muy débil, laminar fina. Compacto. Duro. Frecuentes túbulos verticales rellenos de arcilla, posiblemente originados por actividad biológica o raíces sinsedimentarias. Raíces, no hay. Porosidad global, baja, vesicular no conectada. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCL(11%) respuesta alta, con Ag NO_3 (5%) respuesta media, con Ba Cl_2 (10%) respusta media. Grietas (paleogrietas de retracción), pocas, verticales rellenas. Revestimientos, frecuentes, asociados a túbulos, paleogrietas y poros, color en húmedo 7.5 YR 5/7. Límite inferior abrupto, plano. Muestras 808 (60-75 cm) y 809 (85-100 cm).

110-240/+ cm. $2C_2$. Seco. Color de la matriz en húmedo 10 YR 6/6. Color de bandas horizontales en húmedo, 7,5 YR 5/6. Manchas escasas, extremadamente pequeñas, de reducción, asociadas a poros, color en húmedo, 5 Y 7/3 y manchas, muy escasas, extremadamente pequeñas, de oxidación, asociadas a poros, color en húmedo, 5 YR 6/6. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Arcillo limoso. Estructura (sedimentaria), muy débil, laminar, gruesa. Compacto Duro. Frecuentes túbulos verticales rellenos de arcilla e impresiones de vegetales sinsedimentarios. Sin raices. Porosidad global, baja, vesicular, no conectada. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCl (11%) respuesta alta. Con $AgNO_3$ (5%) respuesta media, con Ba Cl_2(10%) respuesta media. Revestimientos, frecuentes, asociados a túbulos, grietas rellenas y poros, color en húmedo 7,5 YR 5/6, .Muestras 810 (120-140 cm), 811 (160-180 cm) y 812 (200-220 cm).

Cuadro nº 38.- Descripción del perfil FR-2 (Fraella, Huesca).

Pedión:FR-2. España, HU. **Localización:** Fraella; Paraje: Comunal. **Cartografía Topográfica:** I.G.N., 1:50.000, hoja lat 41 ° 56' 45", long 3° 40' , z= 324 m. **Teledetección:** 1:18.000. Identificación x= 12.0, y = 14.5. Localización en el fotograma 324 C-10. **Descrito por**: Rodríguez, R. y J. Herrero. Fecha: 23-VII-87.
Agua del suelo: Nivel freático inaccesible. **Geomorfología:** Escala de observación, varios hectómetos; forma del relieve, ladera en glacis; dinámica de la forma. erosión por cárcavas, fuerte intensidad; longitud de la pendiente, 1000 m, pendiente general 1%, orientación, SE; situación del perfil en el borde de la forma.
Pedregosidad superficial y afloramientos rocosos: No pedregoso. Sin afloramientos rocosos. **Material original:** Materiales detríticos terrígenos estratificados. Cuaternarios. **Vegetación:** Pradera subhalófila de teófitos, comunidad poco densa, con recubrimiento del 40% por estrato herbáceo; Especies dominantes: Puccinelia sp, Lolium italicum e Hymenolobus procumbens.Se han realizado tres inventarios. **Usos de Territorio:** Uso ganadero marginal. El area contigua, uso agrícola: alfalfa y praderas polífitas, con malos rendimientos y graves problemas de nascencia. Riego por inundación sin drenaje. Factores limitantes. Encharcamiento y salinidad. **Clasificación:** Natrixeralf típico (S.C.S. 1975, 1987)

0-2 cm A1. Seco. Color de la matriz en húmedo, 10 YR 4/5. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco arenosa. Estructura fuerte, granular compuesta, fina. Poco compacto. Muy friable. Materia orgánica, poca, frecuentes resíduos vegetales. Actividad de la fauna turrículas, abundantes, galerías, frecuentes. Sistema radicular normal. Raíces ø < 10 mm, abundantes, finas y muy finas, verticales, distribución regular, vivas. Porosidad global, muy alta. Pruebas de campo en el conjunto de horizonte con HCl (11%) respuesta alta, con Ag NO_3(5%) respuesta nula, con Ba Cl_2 (10%) respuesta nula. Límite inferior abrupto, plano. Epipedión ochrico. Muestra 613.

2-8 cm A12. Ligeramente húmedo. Color de la matriz en húmedo 10 YR 4/6,. Manchas, escasas, de pequeñas a medianas, por mezcla de horizontes por fauna, en la parte inferior del horizonte, color en húmedo 10 YR 5/6. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco limoso.

Estructura fuerte, bloques subangulares, fina. Poco compacto. Friable. Materia orgánica, poca, no directamente observable. Actividad de la fauna, turrículas y galerías rellenas, frecuentes. Raíces ø < 10 mm, abundantes, finas y muy finas, verticales, distribución regular, vivas y muertas. Porosidad global, alta. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCl (11%) respuesta alta, con Ag No_3(5%) respuesta nula con Ba Cl_2 (10%) respuesta nula. Límite inferior, neto, plano. Epipedión ochrico.

8-18/26 Btna. Ligeramente húmedo. Color de la matriz en húmedo 10 YR 5/6. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco arcillo limoso. Estructura primaria fuerte, prismática, gruesa; estructura secundaria fuerte, prismática, fina; los agregados rompen en bloques angulares finos. Compacto. Firme. Actividad de la fauna, galerías, pocas, conchas muy pocas. Raíces ø < 10 mm, abundantes, de muy finas a medianas, verticales, preferentemente concentradas en las caras de los agregados, vivas y muertas. Porosidad global moderada. Grietas, abundantes, verticales contínuas, anchura media de 1 mm. Pruebas de campo: con HCl (11%), en la matriz baja , en los nóculos, muy alta.; En el conjunto del horizonte con Ag NO_3(5%) respuesta nula y con Ba Cl_2(10%) respuesta nula. Revestimientos frecuentes, asociados a poros, canales de raíz y caras de los agregados, gruesos. Pocos nódulos friables, de Ca CO_3, de tamaño medio, aumentando en profundidad, blandos, con formas de disolución. Límite inferior gradual, ondulante. Horizonte nátrico. Muestra 815.

18/26-55 cm $B_{t,na,kn}$ Seco. Color de la matriz en húmedo 7.5 YR 5/6. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Francoarcillo limoso. Estructura primaria moderada prismática, gruesa; estructura secundaria fuerte, prismática, fina; los agregados se rompen en bloques subangulares finos. Compacto. Duro. Actividad de fauna, galerías y galerías rellenas pocas. Raíces ø < 10 mm, muy finas frecuentes, verticales, distribución regular, muertas. Porosidad global, moderada. Pruebas de campo: con HCl (11%) en la matriz, media, en los nódulos, muy alta; en el conjunto del horizonte con Ag NO_3 (5%) respuesta media, con Ba Cl_2(10%) respuesta media. Revestimientos frecuentes, asociados a poros, canales de raiz y caras de agregados, frecuentes, nodulos friables de Ca CO_3, de tamaño medio, en agrupaciones de tendencia vertical, blandas, color en húmedo 10 YR 8/4, pardo muy pálido. Límite inferior gradual, plano. Horizonte nátrico. Muestra 816.

55-82 cm B_{tna} Color de la matriz en húmedo 10 YR 5/6. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco limoso. Estructura fuerte en bloques subangulares, fina. Compacto. Ligeramente duro. Actividad biológica, galerías rellenas, abundantes, con secciones de 0.5 a 2 cm; cámaras rellenas, frecuentes. Raíces ø < 10 mm, pocas, muy finas, verticales, con distribución regular, muertas. Porosidad global, alta. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCL (11%) respuesta alta, con Ag NO_3 (5%) respuesta alta, con Ba Cl_2(10%) respuesta alta. Revestimientos, frecuentes, en poros y canales de raíz, caras de agregados paredes de galerías rellenas. Pocos, cristales, de Ca CO_3, en canales de raíces y poros. Límite inferior, neto, plano. Horizonte cámbico. Muestra 614.

82-112 cm Ck Ligeramente húmedo. Color de la matriz en húmedo 10 YR 5/8. En estado de oxidación. Sin elementos gruesos. Franco limoso. Estructura maciza. Compacto. Friable. Actividad de la fauna, galerías rellenas, frecuentes. Raíces ø < 10 mm, muy pocas, muy finas, muertas. Pruebas de campo en el conjunto del horizonte con HCl(11 %) respuesta alta, Ag NO_3 (5%) respuesta alta, con Ba Cl_2(10%) respuesta alta. Revestimientos, pocos, en poros, canales de raiz y caras de agregados. Pocos, cristales de Ca CO_3,en poros. Límite inferior, abrupto, plano. Muestra 818.

112-190/+ cm 2C Sedimentos estratificados, con niveles arenosos, finamente laminados y macizos. Poca actividad de fauna, galerías rellenas de sección de orden centimétrico. Muy pocos elementos gruesos ligados a las etapas arenosas. Revestimientos empastando el nivel arenoso, color en húmedo 7.5 YR 5/4. Muestras 615 (130-150 cm) y 818 (160-180 cm).

b. Caracterización analítica.

Los cuadros siguientes recogen los resultados de los análisis químicos, granulométricos, ensayos de estabilidad estructural según el método Emerson, contenidos de agua a distintos potenciales, conductividad hidráulica e infiltración del perfil FR-1.

Cuadro nº 39.- Caracterización química general y de salinidad del perfil FR-1.

Ref.	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	M.O. %	C.E. (1:5) dS/m a 25ºC	% CaO_3 equiv.	Densidad aparente g/cm^3	Porosidad teórica %	Hs %	pH pasta	C.E.e. dS/m a 25 ºC
805	0-8	8.5	1.92	0.140	17.9	1.33	51.64	34.4	7.9	0.71
806	10-25	8.6	1.58	0.145	24.3	1.24	54.91	46.0	8.1	0.69
807	40-50	9.9	0.48	0.235	12.9	1.57	42.91	35.3	8.9	1.35
808	60-75	10.4	0.16	0.790	15.6	1.46	46.91	44.5	9.6	2.52
809	85-100	10.3	0.22	0.975	15.8	1.51	45.10	45.2	10.0	4.76
810	120-140	10.5	0.10	0.630	23.5	1.44	47.64	38.0	9.6	3.33
811	160-180	10.3	0.11	0.585	18.0	1.47	46.55	44.9	9.3	1.64
812	200-220	10.2	0.15	0.500	16.9	1.52	44.73	45.3	9.2	1.39
banda arci.1	125	-	0.35							
banda arci.2	125	-	0.40							
banda lim. 1	125	-	0.08							
banda lim. 2	125	-	0.05							

EXTRACTO DE PASTA SATURADA meq/l									
Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Ca^{2+}/Mg^{2+}	Cl^{-}/SO_4^{2-}	SAR
4.72	0.93	2.50	0.50	0.00	4.86	3.24	5.1	0.15	1.5
3.85	0.53	2.90	0.20	0.00	3.31	4.11	7.3	0.05	1.8
0.98	0.33	14.00	2.54	0.00	4.20	8.16	3.0	0.31	17.3
0.42	0.11	21.74	6.65	0.00	9.48	8.34	3.8	0.79	42.2
0.83	1.06	46.96	14.91	0.25	14.00	23.18	0.8	0.64	48.3
0.63	1.04	28.00	6.80	0.40	13.40	9.84	0.6	0.69	30.6
0.35	1.03	16.50	1.49	0.88	9.46	8.27	0.3	0.18	20.0
0.54	0.55	11.89	1.20	0.15	7.28	5.68	1.0	0.21	16.1

Cuadro nº 40.-Caracterización del complejo de cambio del perfil FR-1.

Ref.	Prof. cm.	Cationes extraibles meq/100 g suelo Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+} (1)	K^{+}	Cationes cambiables meq/100 g suelo Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+} (2)	K^{+}	meq/100g suelo C.I.C.	ESP(1)	ESP(2)	ESPt Teórico
805	0-8			0.11	0.32			0.07	0.32	5.81	2.0	1.3	0.9
806	10-25			0.24	0.29			0.11	0.29	10.30	2.3	1.0	1.4
807	40-50			2.60	0.13			2.11	0.13	6.73	39.0	31.3	19.6
808	60-75												37.9
809	85-100												41.2
810	120-140												30.5
811	160-180												22.0
812	200-220												18.4

Cuadro nº 41.- Granulometría, y estabilidad estructural del perfil FR-1.

Ref.	GRANULOMETRIA (USDA) %Ar G	% Ar M	% Ar F	% Ar MF	% LG	% LF(1)	% AC (1)	Clase Textural
805	0.50	11.62	34.22	16.79	11.09	12.48	13.33	FAr
806	0.10	1.09	2.98	5.79	9.95	54.22	25.86	FL
807	0.06	0.50	1.22	2.45	11.91	62.68	25.41	FL
808	0.00	0.02	0.03	0.03	4.11	46.03	49.78	AcL
809	0.00	0.02	0.10	0.02	0.73	41.03	58.19	AcL
810	0.00	0.03	0.12	0.57	7.15	60.98	31.15	FAcL
811	0.00	0.00	0.01	0.04	0.93	46.58	52.44	AcL
812	0.00	0.00	0.00	0.01	7.75	42.86	49.38	AcL

(1) Granulometría normal con eliminación de m.o.
(2) Granulometría natural.
(3) Agua destilada - CE = 2 x 10^{-3} dS/m a 25 °C
(4) Agua de riego. CE = 0.4 dS/m a 25°C.

% LF (2)	% Ac (2)	Ac(2)x100/Ac(1)	LF(2)x100/LF(1)	ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Test de Emerson (3)	(4)	Test Loveday (3)	(4)	desestructuración (3)	(4)
16.22	3.52	12.9	132.6	7	7	0	0	No	No
53.71	15.29	38.6	100.7	7	7	0	0	No	No
63.28	22.23	56.8	101.5	2	2	1	1	No	No
48.48	51.37	80.7	105.5	1	3/4	4	0	Si	Si
43.19	57.53	79.8	105.5	1	3/4	4	0	SI	Si
65.00	32.93	73.1	106.7	1	2	4	0	Si	Si
40.78	56.44	84.9	87.7	1	3/4	4	0	Si	Si
44.02	53.30	87.3	102.8	1	3/4	4	0	Si	Si

Cuadro nº 42.- Contenidos de agua y permeabilidad del perfil FR-1.

Ref.	PROF. (cm)	CONTENIDO DE AGUA % -33kPa	-100kPa	-500kPa	-1500kPa	V.I. m/día	K a 30 cm m/día	K a 60 cm m/día	K a 90 cm m/día
805	0-8	12.0	8.3	5.4	5.1	1.30			
806	10-25	23.3	17.0	12.8	10.6		0.40		
807	40-50	24.9	19.7	-	14.1			0.17	
808	60-75	31.8	26.8	23.5	16.2				0.07
809	85-100	35.6	27.7	-	21.5				
810	120-140	25.8	20.1	16.9	10.1				
811	160-180	28.5	-	-	17.8				
812	200-220	27.6	-	-	18.3				

Horizontes superficiales.

Los epipediones más superficiales, hasta los 8 cm, tienen un promedio de materia orgánica del 1.65%, y una densidad aparente de 1.37 Mg/m^3, que proporciona una porosidad teórica del 50.2 %. El contenido en sales es bajo, con una CEe de 1.77 dS/m a 25 °C y un SAR de 2.1. El pH de la pasta no supera el valor 8.0, y el contenido medio de carbonato cálcico equivalente es del 10%.

La capacidad de intercambio catiónico es de 6 meq/100 g de suelo, y la textura moderadamente gruesa y de tipo medio tiene un contenido en arcilla que va del 6% al 15.2%. El contenido gravimétrico de agua entre -33kPa y -1500 kPa es de 6.7%.

Horizontes nátricos.

El horizonte nátrico más superficial tiene un contenido de materia orgánica de 1.40%, un contenido en carbonato cálcico equivalente del 6.7% y un pH 1:2.5 de 9.0. La CE del extracto tiene un valor de 1.55 dS/m a 25 °C y el SAR vale 10.5, equivalente a un ESP teórico de 12.5. La textura es moderadamente fina con un 30.6% de arcilla. La capacidad de intercambio catiónico es de 11.1 meq/100 g de suelo. El porcentaje gravimétrico de agua en el suelo entre -33 kPa y -1500 kPa es 11.3.

El segundo horizonte nátrico llega hasta los 50 cm de profundidad, con una densidad aparente de 1.68 Mg/m^3 y una porosidad teórica de 38.9 %. La CEe es de 4.05 dS/m a 25 °C, el pH de la pasta es de 9.2 y el SAR tiene un valor de 32.7 correspondiente a un ESP teórico de 32.0. Este horizonte presenta uno de los contenidos más altos del perfil en carbonato cálcico equivalente (20.4%), ya que sus nódulos contienen un 62.0% de carbonato cálcico equivalente. La matriz tiene un contenido en carbonato cálcico equivalente del 2%, similar al del horizonte anterior. El porcentaje de arcilla aumenta ligeramente hasta 39.1 y el porcentaje de

agua disponible de 10.8 es del mismo orden que en el horizonte anterior.

Horizontes por debajo del nátrico.

A partir de los 55 cm, el contenido en sales aumenta, con valores altos de CEe (17.4 dS/m a 25 °C) de 130 a 150 cm de profundidad. Hasta los 150 cm, el ESP teórico supera el valor 50. El contenido en materia orgánica decrece de forma irregular, y la densidad aparente continúa con valores altos. La textura en estos horizontes no es tan fina, y está entre las clases franco-limosa y franca, con procentajes de arcilla que van del 24.3 al 8.7. La cantidad de agua disponible en estos horizontes tan densos es del orden de un 8% en peso.

Los cuadros siguientes recogen los resultados de los análisis químicos, granulométricos, ensayos de estabilidad estructural según el método Emerson, contenidos de agua a distintos potenciales, conductividad hidráulica e infiltración para el perfil FR-2.

Cuadro nº 43.- Caracterización química general y de salinidad del perfil FR-2.

Ref.	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	M.O. %	C.E. (1:5) dS/m a 25°C	% CaO_3 equiv.	Densidad aparente g/cm^3	Porosidad teórica %	Hs %	pH pasta	C.E.e. dS/m a 25 °C	Ca^{2+}
613	0-2	8.7	1.85	0.120	10.9	1.37	50.19	32.8	8.0	1.00	8.04
814	2-8	8.3	1.44	0.205	8.0	1.37	50.19	43.6	7.9	1.77	7.26
815	15-25	9.0	1.40	0.240	6.7	1.56	43.28	36.2	8.2	1.55	1.60
816	38-50	10.2	0.59	0.740	20.4	1.68	38.91	33.5	9.2	4.05	1.45
614	55-80	10.4	0.35	0.970	16.0	1.59	42.19	27.6	10.0	8.77	0.29
817	80-105	10.4	0.06	1.000	26.5	1.59	42.19	27.8	10.3	9.60	1.12
615	130-150	10.6	0.12	1.290	5.2	1.65	40.00	27.7	10.6	17.40	0.02
818	155-175	10.6	0.03	0.535	9.1	1.62	41.09	25.4	10.3	4.46	0.58
813	0-25	9.4	0.74	0.760	13.8	-	-	41.2	8.1	6.36	4.23
nodulos (816)		-	0.40	-	62.0	-	-	-	-	-	-
matriz (816)		-	1.00	-	1.8	-	-	-	-	-	-

EXTRACTO DE PASTA SATURADA meq/l										
Mg^{2+}	Na^{+}	Suma de cationes	Cl^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Suma de aniones	Ca^{2+}/Mg^{+2}	Cl^{-}/SO_4^{2-}	SAR
0.3	2.40	10.74	0.03	0.00	7.44	5.80	12.80	26.8	0.01	1.2
7.11	5.60	19.97	0.10	0.00	13.26	7.85	21.21	1.0	0.01	2.1
1.37	12.8	16.27	0.33	0.00	8.70	8.44	17.47	1.2	0.04	10.5
0.90	35.4	37.75	10.77	0.00	13.16	17.64	41.57	1.6	0.61	32.7
1.31	87.4	89.00	27.52	3.76	16.24	36.64	84.16	0.2	0.75	97.7
1.30	96.9	99.30	51.50	7.20	20.60	13.82	93.12	0.9	3.73	88.1
2.36	170.9	173.28	76.15	4.15	28.00	-	-	0.01	-	156.7
2.96	45.4	48.99	12.41	8.84	21.47	-	-	0.2	-	34.1
3.19	60.5	67.92	18.00	0.00	10.48	37.85	66.33	1.3	0.48	31.4

Cuadro nº 44.- Caracterización del complejo de cambio del perfil FR-2.

Ref.	Prof. cm.	Cationes extraibles meq/100 g suelo Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+} (1)	K^{+}	Cationes cambiables meq/100 g suelo Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+} (2)	K^{+}	meq/100g suelo C.I.C.	ESP(1)	ESP(2)	ESPt Teórico
613		4.64	0.18	0.14	0.44	3.59	0.01	0.06	0.44	4.10	3.7	1.5	0.5
814		8.43	0.32	0.41	0.85	7.30	0.01	0.16	0.85	8.32	3.9	1.9	1.9
815		12.7	0.08	2.17	0.45	8.96	0.03	1.71	0.45	11.15	18.8	15.3	12.5
816		8.50	0.34	10.06	0.24	0.90	0.31	8.87	0.24	10.31	98.5	86.0	32.0
614		2.43	0.26	8.22	0.27	0.15	0.22	5.80	0.27	6.44	127.6	90.0	58.8
817		0.72	0.14	7.58	0.20	0.10	0.10	4.89	0.20	5.29	143.3	92.4	56.3
615		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
818		2.62	0.12	3.82	0.17	0.26	0.04	2.67	0.17	3.41	122.8	78.2	32.9

Cuadro nº 45.- Granulometría y estabilidad estructural del perfil FR-2.

Ref.	GRANULOMETRIA (USDA) %Ar G	% Ar M	% Ar F	% Ar MF	% LG	% LF(1)	% AC (1)	Clase Textural
613	0.51	7.47	19.23	41.87	18.73	5.84	6.35	FAr
814	0.85	1.91	9.05	19.23	23.45	30.34	15.17	FL
815	0.30	1.94	6.12	9.85	16.91	34.27	30.62	FAcL
816	0.33	0.92	2.67	9.62	31.84	19.13	39.08	FAcL
614	0.23	0.78	4.56	13.07	25.61	31.37	24.39	FL
817	0.34	0.65	5.13	14.30	28.96	36.48	13.99	FL
615	0.37	0.77	19.47	23.10	23.66	16.08	9.19	F
818	1.36	5.54	20.28	23.80	31.02	16.64	8.67	F

1 Granulometría normal.
2 Granulometría natural.
3 Agua Destilada CE = 2 x 10^{-3} dS/m a 25 °C
4 Agua de Riego CE = 0.4 dS/m a 25 °C

% LF (2)	% Ac (2)	Ac(2) x100/Ac(1)	LF(2)x100/LF(1)	Estabilidad estructural Emerson (3)	Emerson (4)	Loveday (3)	Loveday (4)	Desestructuración (3)	Desestructuración (4)
9.5	2.2	10.9	16.5	7	7	0	0	No	No
31.0	10.0	34.8	103.7	7	7	0	0	No	No
44.5	19.1	43.4	131.8	2	7	1	0	No	No
40.7	39.6	74.9	214.1	2	2	2	2	Si	Si
36.4	24.4	63.8	116.2	1	2	4	3	Si	Si
33.9	17.9	64.1	93.1	1	2	3	2	Si	Si
20.5	10.0	34.3	127.8	2	2	2	1	Si	Si
16.7	7.7	43.6	100.6	2	2	2	1	Si	Si

Cuadro nº 46.- Contenido de agua del perfil FR-2.

Ref.	PROF. (cm)	CONTENIDO DE AGUA % -33kPa	-100kPa	-500kPa	-1500kPa
613	0-2	10.1	6.5	3.9	3.3
814	2-8	16.5	13.7	12.6	9.8
815	15-25	23.6	18.9	13.9	12.3
816	38-50	30.4	23.5	-	19.6
614	55-80	25.4	21.0	-	14.3
817	80-105	15.4	11.8	8.8	6.9
615	130-150	12.7	13.5	5.8	4.7
818	155-175	10.4	8.6	5.5	4.0
813	0-25	20.4	15.3	17.1	11.6

Horizontes superficiales.

Los horizontes superficiales, hasta 25 cm. se caracterizan por tener un pH de la pasta 8.0 y un SAR inferior a 2.

El contenido en M.O. es del 1.75% y el contenido en carbonato cálcico equivalente medio es del 21.1%. La porosidad teórica supera ligeramente el 50%, con una densidad aparente media de 1.29 Mg/m^3.

La presencia de sales es escasa en estos horizontes, con una CE del extracto de pasta inferior a 1 dS/m a 25 °C.

La textura es moderadamente gruesa (franco-arenosa) con un 13.3% de arcilla y de tipo medio (franco-limosa) con un 25.8%. Los contenidos gravimétricos de agua a -33kPa van del 12% en el franco-arenos, hasta un 23.2% para la clase franco-limosa. A un potencial mátrico de -1500 kPa, los contenidos gravimétricos de agua son respectivamente del 5.1 y del 10.6%.

La capacidad de intercambio catiónico media es de 8 meq/100g de suelo.

Horizontes subsuperficiales.

A partir de los 40 cm, los horizontes tienen un pH en pasta superior a 8.5, que generalmente ya indica un ESP superior a 15, tal como confirman los análisis.

El pH 1:2.5 da valores superiores a 9.5 en todos los horizontes. El pH de la pasta más alto es 10.0 para el horizonte C de 85 a 100 cm de profundidad. El SAR alcanza un valor de 17.3 a 40 cm de profundidad para alcanzar un máximo de 48.3 a 85 cm. El ESP teórico calculado es en los dos casos de 19.6 y 41.2 respectivamente. El horizonte con mayor contenido de sales se sitúa a 85 cm, dando la CE del extracto de pasta 4.76 dS/m a 25 °C. A partir del metro de profundidad tanto el valor del SAR como el de la CEe decrecen hasta valores de

16.1 y 1.39 dS/m a 25 °C respectivamente.

La materia orgánica decrece de forma irregular. A una escala más detallada se han analizado las bandas arcillosas y limosas, a 125 cm de profundiad, dando un valor medio de 0.38%.

La densidad aparente es de tipo medio llegando a 1.51 Mg/m^3 en el horizonte con más cantidad de sodio. La porosidad teórica es siempre inferior al 50 %.

El contenido en carbonato cálcico equivalente no es muy alto, y va desde los 12.9% hasta los 23.5%. La relación Ca^{2+}/Mg^{2+} del extracto de pasta disminuye en profundidad. La textura en estos horizontes es más fina, aumentando el porcentaje de arcilla hasta un 58.2% predominando la clase arcillo-limosa. Los contenidos gravimétricos de agua a -33kPa van del 24.9% al 35.6%, mientras que a -1500 kPa van del 10.1% al 21.5%.

c. Mineralogía de las arcillas.

El Cuadro nº 47 refleja semicuantitativamente los difractogramas en polvo con y sin eliminación de carbonatos.

Cuadro nº 47.- Mineralogía semicuantitativa de la fracción ≤ 2 mm. (Porcentaje relativo en peso).

ELIMINACION CARBONATOS	MUESTRA	MINERALES LAMINARES	CUARZO	GOETHITA	FELDESPATO	CALCITA	YESO
	815	80	15	1	4	*	*
SI	816' (Matriz)	87	9	1	3	*	*
	816"(Nodulo)	85	10	1	4	*	*
	815	24	47	-	10	20	-
	816'(Matriz)	58	23	trazas	3	16	-
NO	816" (Nódulos)	57	16	-	-	27	-
	Hojaldre (fino)	87	10	trazas	3	-	-

En el Cuadro nº 48 se indica la composición semicuantitativa a partir de los diversos tratamientos en agregado orientado y en polvo.

Cuadro nº 48.- Mineralogía semicuantitativa de la fracción arcilla (ø < 2 µm). (Porcentaje relativo en peso).

	Minerales laminares	Cuarzo	Goethita	Feldespato	Ilita	Caolinita	Clorita	Pirofilita
805	87	10	Tr	3	79	2	3	3
809	84	7	1	7	80	Tr	3	2
812	75	17	1	7	70	Tr	3	2
814/87	87	10	1	2	79	2	2	4
815/87	80	15	1	4	73	Tr	4	3
816'/87(Matriz)	87	9	1	3	81	Tr	2	4
816"/87(Nódulos)	85	10	1	4	77	Tr	3	5
816'"/87 (LF)	66	32	Tr	2	60	1	3	2
818/87	87	10	1	2	77	1	4	5

En las Figuras nº 16 y 17 se recogen las determinaciones por espectroscopía infrarroja en muestras de los perfiles FR-1 y FR-2.

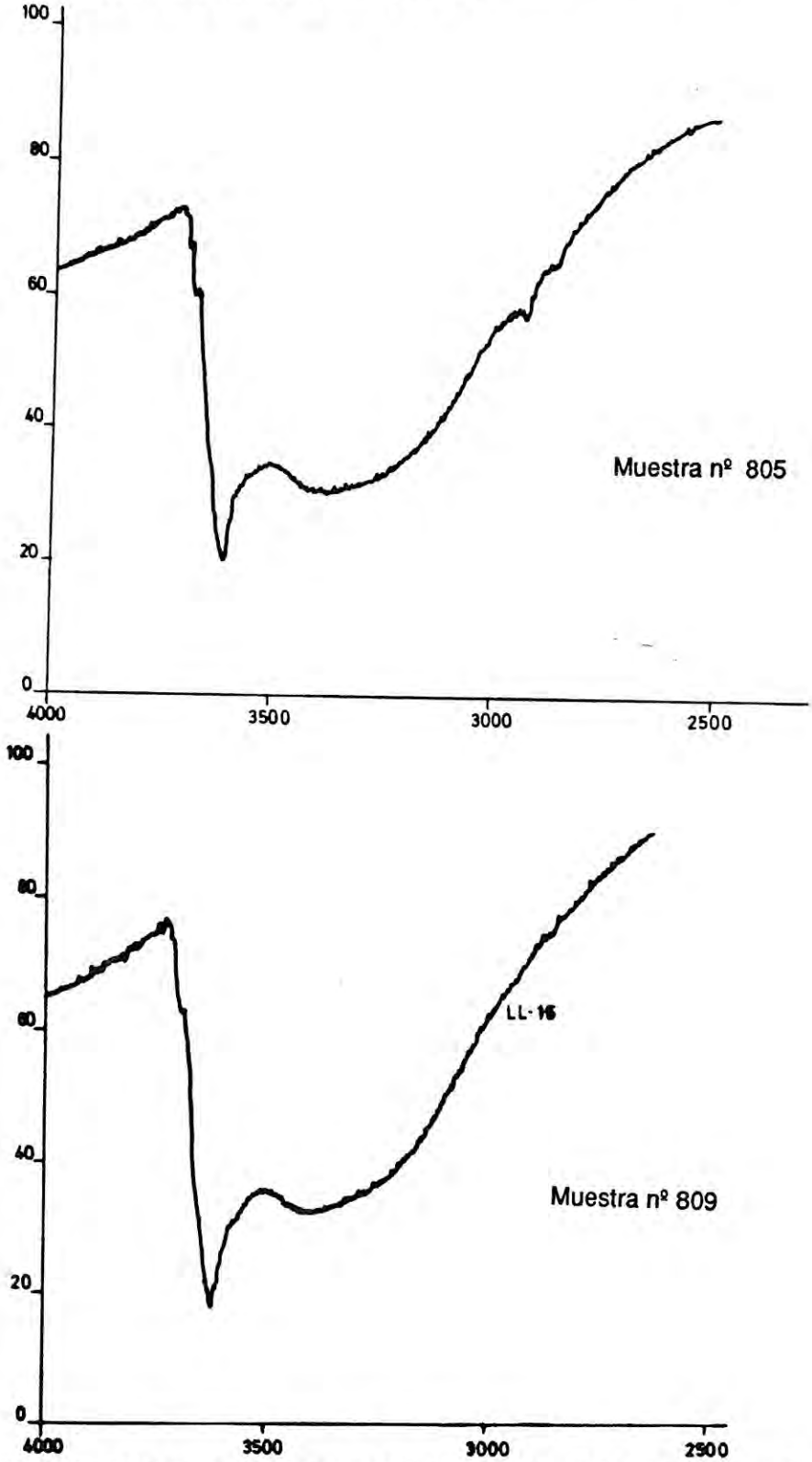


Fig. 16- Espectros de infrarrojo. Muestras 805 (0-8 cm) y 809 (85-100 cm) del perfil FR-1.

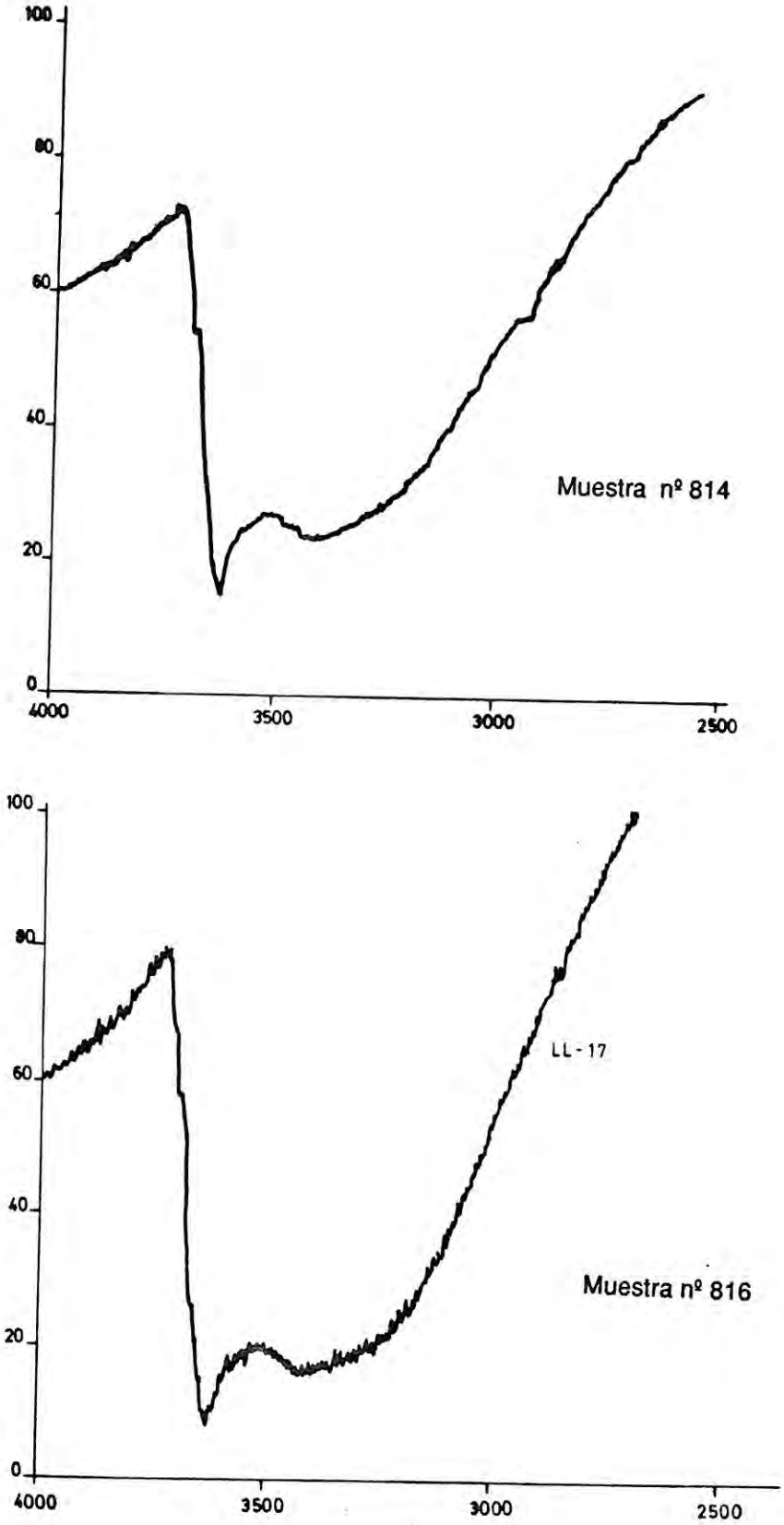


Fig. 17.- Espectros de infrarrojo. Muestras 814 (2-8 cm) y 816 (38-50 cm). Perfil FR-2.

d. Mineralogía de arenas (200 > Ø > 50 µm).

Las muestras se han separado con bromoformo (d ≈ 2.82), obteniéndose las fracciones pesada (d > 2.82) y ligera (d < 2.82). Esta última fue sometida a tinción selectiva, utilizando cobaltonitrito sódico y hemateína, para diferenciar el cuarzo de los feldespatos y, de éstos, los potásicos de los calcosódicos. La identificación de los minerales se ha realizado con microscopio petrográfico.

Cuadro nº 49.- Fraccionamiento arena (50 < ø < 200 µm). Pedión FR-2. (Pinilla, 1989).

MUESTRAS	% FRACCION LIGERA	% FRACCION PESADA
814	98.33	1.67
815	96.47	3.53
816	95.32	4.68
818	98.79	1.21

Cuadro nº 50.- Mineralogía de la fracción ligera. Pedión FR-2. Fracción arena (50 < ø < 200 µm). (Pinilla, 1989).

MUESTRAS	% CUARZO	% FELDESPATO	% BIOTITA	% MOSCOVITA	% FRAGMENTOS
814	60	15	-	-	25
815	70	17	-	1	12
816	58	11	2	6	23
818	53	5	3	2	37

El cuarzo es preponderante en todas las muestras, siempre por encima del 50 %. Los feldespatos tanto por la tinción como por el íncide de refracción observado con contraste de fase, se corresponden con plagioclasas de tipo albita.

Los fragmentos de roca son pizarras; triturados suavemente algunos de ellos, dan como composición cuarzo y micas, y quizá clorita, en granos muy pequeños. Las biotitas están alterándose a mica decolorada y también a clorita.

Cuadro nº 51.- Mineralogía de la fracción pesada. Pedión FR-2. Fracción arena (50 < ø < 200 µm). (PInilla, 1989).

Muestras	% Fragmentos de roca	% Micas	% Clorita	% Leucoxenos	% Oxidos de hierro	% Hidróxidos de hierro	% Opacos naturales	% Turmalina	% Circón	% Granate	% Rutilo	% Anatasa	% Broquita	% Epidota-zoisita	% Apatito
814	20	30	-	5	9	21	1	3	1	2	-	-	1	6	1
815	27	27	1	7	4	7	2	4	2	10	-	1	-	4	3
816	41	18	3	12	4	-	3	2	3	5	1	-	-	5	3
818	51	26	1	4	1	-	1	2	2	3	-	1	-	4	4

Los fragmentos de roca están muy ferruginizados, siendo escasos los que no presentan alteración. Las micas también están alteradas; son muy frecuentes las biotitas decolorándose y cloritizándose, y también hay bastantes muy ferruginizadas casi pasando a óxido de hierro. Más escasas son las de color amarillo oro, con brillo bronceado ("oro de gato") por pérdida de álcalis a causa de los agentes atmosféricos. Estas son más abundantes en las muestras 816 y 818.

Son muy pocas las biotitas y moscovitas sin alterar. Los óxidos e hidróxidos de hierro son especialmente abundantes en las muestras más superficiales.

e. Análisis totales.

En los Cuadros nº 52 y 53 se indican los resultados de fluorescencia de rayos X y las relaciones calculadas para varios parámetros de interés.

Cuadro nº 52.- Composición elemental por fluorescencia de rayos X. (Pinilla, 1989).

Muestra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	TiO_2	MnO	Na_2O
					%					
815	48.72	8.71	4.05	1.61	9.84	2.29	0.12	0.63	0.07	1.27
816"(Matr)	40.44	13.97	7.93	2.40	8.47	3.51	0.11	0.86	0.11	1.30
816"(Nód)	21.97	7.30	5.94	1.68	30.08	2.62	0.07	0.48	0.05	1.24
Hojaldre (nivel fino)	39.56	17.13	10.09	2.93	4.21	4.63	0.12	0.86	0.08	1.54

Rb	Cu	Sr	Co	Ni	Zn	Zr	Ba	Pb	La	Ce	V	Cr
						ppm						
79	14	176	12	25	74	251	430	22	-	85	70	50
153	32	218	15	59	140	157	517	19	26	74	159	79
73	13	347	9	43	140	73	392	16	-	86	76	92
228	56	281	17	75	174	91	589	30	26	127	225	96

Cuadro nº 53.- Algunas relaciones calculadas para la composición elemental.

	SiO_2/Al_2O_3	SiO_2/Fe_2O_3	$SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$	$\frac{K_2O+Na_2O+CaO+MgO}{Al_2O_3}$
FR-2	5.6	12.0	3.8	1.7
FR-2 (Matriz)	2.9	5.1	1.8	1.1
FR-2 (Nódulos)	3.0	3.7	1.7	4.9
FR-1 (Hojaldre) nivel fino	2.3	3.9	1.5	0.8

f. Micromorfología.

Se estudia la micromorfología dehorizontes de los perfiles FR-1, FR-2 y FR-3 localizados en Fraella. En el Cuadro nº 54 se recogen las descripciones de láminas del perfil FR-1 correspondientes a los horizontes A_2(10-22 cm); C (40-50 cm) y 2C -hojaldre- (38-50 cm). El Cuadro nº 55 comprende las descripciones correspondientes al horizonte superficial A1 (0-2 cm), horizonte AC (2-8 cm), horizonte, horizonte Bt,na (15 a 25 cm) y horizonte Bt, na, kn (38-50 cm). En el Cuadro nº 56 se describe un horizonte A2 (S.S.S., 1987) del pedión FR-3 que se considera menos afectado por actividades agrícolas que el FR-2.

Cuadro nº 54.- Descripción micromorfológica del pedión FR-1.

Horizonte y profundidad	Descripción
A2 (10-22 cm)	MICROESTRUCTURA: Granular y migajosa, 2-3 mm ø, fuerte que pasa en profundidad a bloques subangulares, 6-10 mm ø de desarrollo moderado. POROSIDAD: Porosidfad global, 30%. Inter y transagregados. Huecos de empaquetamiento compuesto, 15%, canales y huecos planares, 5%, aumentando estos hacia la base del horizonte, Intraagregados: canales de huecos y planos, 50-100 µm de sección y cavidades policóncavas. 10%. DISTRIBUCION RELACIONADA: Porfírica. FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: Cristalínitca. Con meteados aislados de baja birrefringencia. COMPONENTES MINERALES: Cuarzo: 5% de 20 a 100 µm en la masa basal y de 50-400 µm en rellenos de canales, hasta un 30%, generalmente subangular, en ciertos casos con extinción ondulante. Feldespatos, muy pocos, plagioclasas, con síntomas de alteración. Calizas: en la masa basal sobre un 1% de granos de más de 100 µm de tamaño subredondeados y algunos de esparita, en los rellenos de canales, un 20%. Esquistos en arenas 100-400 µm, subredondeado-tabulares, alterados, con segregaciones de óxidos de hierro, < 1%. Micas de tamaño limo y arena muy fina. Algunos fragmentos de concha. EDAFORRASGOS: TEXTURALES: Intercalaciones, arcillo-limosas, muy pocas, de birrefringencia baja, distribuidas al azar. Rellenos de canales, incompletos, densos, de material arenoso-limoso, 5%. Dentro de estos rellenos, se observan algunas intercalaciones limosas, curvadas. CRISTALINAS: Cristales aciculares, muy pocos, de calcita, en haces entrelazados, rellenando parcialmente bioporosidad.

FABRICA: Afectan a un 40%, generalmente rellenos de canales, sueltos incompletos y densos incompletos, mayoritarios estos últimos.

C (40-50 cm)

MICROESTRUCTURA: Material apedial, microlaminado, fuertemente reorganizado por bioturbación, con huecos vesiculares y cavitarios policóncavos. Porosidad total 5-10%. En las capas más gruesas, porosidad cavitaria-vesicular, hasta un 30%, tamaño, 1000-200 µm ø. en los niveles limosos y arcillo-limosos, cavitaria policóncava y canales de 500-100 µm. En las zonas sin microlaminación, cavidades policóncavas de 500 a 100 µm, de paredes lisas y canales, distribuidos al azar, de 2000 a 50 µm, siendo los más frecuentes de 1000 a 200 µm.
MASA BASAL: Se pueden distinguir dos tipos de materiales, uno laminado, subhorizontel y otro, más homogéneo, sin organización laminar, con proporciones relativas aproximadas de 30 y 70% respectivamente. Las laminaciones presentan espesores de orden submilimétrico, con etapas limoso-arenosas, de 100 a 200 µm, limosas y arcillo limosas de 300 a 20 µm. El material más edafizado es una mezcla de fragmentos de material laminado, material bioturbado por mesofauna y una matriz, no diferenciada que empasta los otros elementos. La granulometría media es franco-limosa; carbonática.
DISTRIBUCION RELACIONADA: Porfírica.
FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: Cristalítica y localmente moteada.
EDAFORRASGOS:
TEXTURALES: Intercalaciones, generalmente de arcilla impura, de birrefringencia media y en proporción menos del 1%. También algunas intercalaciones limosas entrelazadas. Rellenos complejos, con capas limosas y arcillo-limosas y arcillosas impuras, 1%.
FABRICA: Canales, milimétricos, rellenos, densos, continuos y en media luna, sin orientación preferente, distribuidos al azar, 15-20%. Canales, 300-100 µm, rellenos, sueltos, continuos, 2%. Camaras, 1-5 mm de diámetro, rellenos, densos, continuos, distribuidos al azar, 2-5%.

2 C (hojaldre)
(75-150 cm)

MICROESTRUCTURA: Material apedial estratificado, con huecos mayoritariamente vesiculares y cavitarios policóncavos, de 300 a 100 µm de ø, de paredes lisas. También huecos planares, subhorizontales y canales. Los poros se distribuyen en bandas horizontales, siendo mayor el eje en dicho sentido. La porosidad es no conectada y variable en cantidad en las diferentes capas oscilando entre menos del 1 % y un 15-20 %. La porosidad global en las capas estratiformes es entre 2 y 5%. La porosidad en los rellenos tubulares y en sepósitos de microcanal es de tipo cavitario policóncavo y planas, siendo más frecuente la primera, tamaño 2000-100 µm, paredes lisas y posiblmentes poco conectado.
MASA BASAL: Laminaciones alternantes subhorizontales de orden centimétrico a milimétrico de estapas limosas micríticas, 1-10mm, con granoclasificación vertical y etapas limoso arcillosas, micríticas, 0.2-5 mm, que pueden llegar a ser arcilloso impura, 20-50 µm. La fábrica de esta organización estratiforme se ve alterada por agrietamientos en cuña y posterior relleno de las mismas, depósitos heterogéneos discordantes en forma de microcanales y estructuras de deformación por convolución, entre otras.
FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: Los niveles limosos, cristalítica, los arcillo-limosos y los arcillosos impuros, unistriada y poroestriada.
COMPONENTES MINERALES: En las etapas más gruesas se reconoce, cuarzo, cristales de calcita y micas.
COMPONENTES ORGANICOS: Un 2 % de fragmentos fibrosos, subhorizontales pardos.

EDAFORRASGOS:
TEXTURALES: Complejas, micropanes laminados con etapas limosas, arcillo-limosas y arcillosas impuras. 0-5 a 5 mm. proporción entre 2-10 %. También rellenos crescénticos en huecos vesiculares y canales.
CRIPTOCRISTALINOS: Algunos moteados, y algunos quasirevestimientos, pardos impregnantes de óxidos de hierro y manganeso.
FABRICA: Rellenos, densos incompletos y camaras de actividad de fauna de sección 2-5 mm, sin orientación preferente, aparecen para profundidades inferiores a unos 80 cm, en cantidad de un 2-3% de la sección.

Cuadro nº 56.- Descripción micromorfológica del pedión FR-2.

Horizonte y profundidad.	Descripción
A1 (0-2 cm)	MICROESTRUCTURA: Microagregados intergranos granulares, ø 30-60 µm. POROSIDAD: huecos de empaquetamiento complejos, 60%. DISTRIBUCION RELACIONADA: Enáulico-mónica. FABRICA DE BIREFRINGENCIA: Indiferenciada-cristalítica. COMPONENTES MINERALES:Cuarzo, pocos, granos subangulares, de 300 a 100 µm. equidimensionales. Calizas, muy pocas, arena fina micrítica. Algunos fragmentos de concha. COMPONENTES ORGANICOS: residuos vegetales, comunes. EDAFORRASGOS: no hay.
AC(2-8 cm)	MICROESTRUCTURA: Débil, en bloques subangulares, 1-6 mm, y laminar, moderada, 1-2 mm, con orientación subhorizontal. POROSIDAD Porosidad total 30%. Inter y transagregados: Cavitaria, generalmente subhorizontal, elongada, con paredes lisas, de forma mamelonada, 5%. Canales, de dos tipos: grandes de 5-10 mm ø, distribuidos al azar, 10%; y pequeños de 100 a 300 µm ø, al azar, 10%. Huecos planares escasos. Intraagregados: Cavitarios de tendencia policoncava, paredes lisas, de 200 a 50 µm ø, 5%. DISTRIBUCION RELACIONADA: porfírica. FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: cristalítica. COMPONENTES MINERALES: Cuarzo: mono y policristalino, más abundante el primero, 200-20 µm, subangular, equidimensional, frecuente. Caliza: micrita, subredondeada-tabular, poca. Algún grano esparítico. Fragmentos de esquistos, subredondeado-tabular, 300-100 µm de tamaño. Algún grano de mica y fragmentos y una sección completa de concha. EDAFORRASGOS: TEXTURALES: Bandas, revestimientos e hiporrevestimientos, limosos indiferenciados, micríticos, de tendencia general subhorizontal, 2%. CRIPTOCRISTALINOS: nodulos impregnativos concéntricos y típicos, de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, de tamaño 30-200µm, < 1%. También algunos fragmentos subangulares de nódulos. FABRICA: dos tipos en función del color y fábrica de birrefringencia, entre otras morfologías. Hacia la base del horizonte, rellenos más rojos que la matriz , densos contínuos, de distribución porfírica más abierta que lacorrespondiente de la matriz, con fábrica de birrefringencia moteada, discontínua.Tamaño de 2-5 mm de ancho, galerías de fauna rellenas. También ,con coloración similar a la matriz del horizonte, rellenos más o menos densos, generalmente discontínuos 2%.

Bt, na (15-25 cm) MICROESTRUC TURA: Fuerte, prismática, de 4 a 6 cm, con subestructura en bloques angulares de 2 a 3 cm.
POROSIDAD: Porosidad total, 20%.
Interagregados: dos sistemas de huecos planares, perpendiculares, con caras que se acomodan, porosidad de un 5%.
Interagregados: canales, con distribución al azar, 15%.
DISTRIBUCION RELACIONADA: Porfírica.
FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: Poroestriada.
COMPONENTES MINERALES: Cuarzo: mono y policristalino, subangular, equidimensional, de 300 a 100 µm, frecuente. Calcita: poca, arenas finas y muy finas, subredondeada, equidimensionales, 200-50 µm, micriticas, 2-3%. Micas. Fragmentos de esquisto y de conchas.
COMPONENTES ORGANICOS: muy pocos, fibras pardas, de posible origen vegetal.
EDAFORRASGOS :
TEXTURALES: Revestimientos e hiporrevestimientos, 5%, generalmente con mala microlaminación, de arcilla sucia y arcilla impura. Birrefringencia moderada y fuerte, generalmente por zonas. Intercalaciones, 1 % aproximadamente.
CRISATLINOS: muy pocos, quasirevestimientos micríticos, impregnantes.
CRIPTOCRISTALINOS: nódulos impregnativos, concéntricos con límites nítidos, de óxidos e hidróxidos de Fe, Mn y Ti, confirmado por análisis con EDAX, distribuidos al azar, de 300-50 µm de tamaño.
EXCREMENTALES, muy pocos.

Bt, na, kn (38-50 cm) MICROESTRUCTURA: Fuerte, prismática, de 3-5 cm, organizada en bloques subangulares 1-3 cm.
POROSIDAD: Porosidad total: 15%.
Interagregados: dos familias de huecos planares perpendiculares aprox. entre si con caras que se acomodan 2%.
Intraagregados: canales, distribuidos al azar 10%.
DISTRIBUCION RELACIONADA: Porfírica.
FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: poroestriada. Componentes minerales: Cuarzo: mono y policristalino, de 300-50 µm frecuente. Calcita: granos de esparita y micríticos de 50-150 µm, 2%. Micas (< 1%). Fragmentos de conchas.
COMPONENTES ORGANICOS: muy pocos fragmentos fibrosos pardos.
EDAFORRASGOS:
TEXTURALES: entre un 3 y un 6% , revestimientos e hiporrevestimientos indiferenciados, algunas veces microlaminados, no bien triados, de arcilla impura y arcilla sucia. Birrefringencia de moderada a fuerte, sin extensión contínua . Algunos hiporrevestimientos e intercalaciones < 1 %.
CRISTALINOS: Nódulos impregnativos, típicos y en algunos casos septáricos, con límites nítidos, calcíticos, micrita , equidimensionales, coalescentes en sentido vertical. Con estructuras internas, planos y oolitos, en algunos casos. Evidencias de disolución en granos de cuarzo, empobrecimiento de materiales de 50-500 µm muy evidente respecto a la matriz y fracturación mecánica de arenas. Redisolución parcial por actividad de raíces, en huecos cavitarios, en tales huecos se identifican revestimientos arcillosos. También quasi-reestimientos de calcita micrítica muy poco frecuentes.
CRIPTOCRISTALINOS: Nódulos impregnativos concéntricos, hasta 5 etapas, con límites nítidos generalmente dendríticos, de óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso y titanio, distribuidos al azar, tamaño de 400 a 50 µm. En luz reflejada, generalmente, pardos; también rojizos. Nódulos típicos, impregnativos, muy pocos, distribuidos al azar y tamaño de 50 a 100 µm. En luz reflejada generalmente de color rojizo.
EXCREMENTALES: muy pocos.

Cuadro nº 56.- Descripción micromorfológica del horizonte A2 del perfil FR-3.

Horizonte y profundidad	Descripción
A2 (3-30 cm)	MICROESTRUCTURA: Migajosa, de débil a moderada, tamaño de 2 a 7 mm. En algunas zonas granular simple. POROSIDAD: Porosidad total 50% . interagregados y transagregados. Canales, 20%, por zonas, huecos de empaquetamiento simple y complejo, 20%. Intraagregados, huecos de empaquetamiento Simple y compleja, 10%. DISTRIBUCION RELACIONADA: Porfírica, mayoritaria, por zonas, enáulica y mónica. FABRICA DE BIRREFRINGENCIA: cristalítica. COMPONENTES MINERALES: Cuarzo, granos mono y policristalino, algunos muy fracturados, subangulares, equidimensionales, 500 a 30 µm, siendo la fracción más abundante la de 150 a 50 µm, 30%. Caliza: micrita, subredondeada, 200-50 µm, 10%. Esquistos: granos de 300 a 100 µm, subredondeado-tabulares, muy poco abundantes. Feldespatos: algunos granos de plagioclasas, generalmente alterados y algunos con corrosión. Mica, algún grano de moscovita alterada con segregación de óxidos de hierro. COMPONENTES ORGANICOS: restos vegetales identificables y resíduos pardos y rojizos, 2%. EDAFORRASGOS: TEXTURALES: bandas y revestimientos limosos, micríticos, subhorizontales, muy pocos, 1-2%. FABRICA:Rellenos, discontínuos, de cámaras y canales, 5%.

3.3. Suelos en regadío: Problemática por procesos de salinización-sodificación.

a. Distribución de suelos afectados por salinidad.

En la Depresión de Sariñena las formas del paisaje definen la distribución de los suelos afectados por salinidad. Las posiciones elevadas, tales como las plataformas residuales y las plataformas estructurales se caracterizan por la presencia de suelos sin problemas de salinidad. En el caso de las vertientes hay que distinguir las vertientes en glacis, que presentan suelos salinos, salino-sódicos y sódicos, además de suelos no afectados por salinidad. La granulometría de los materiales junto con los factores hidrogeológicos, condiciona la presencia de problemas de salinidad/sodicidad. Los suelos con materiales finos son los más afectados por salinidad, como ocurre en Fraella, Grañén, Sodeto y San Lorenzo de Flumen.

En vertientes que han sido objeto de movimientos de tierras y nivelaciones, el sustrato de lutitas ha sido dejado muy próximo a la superficie del suelo y al ser además humectado por el riego, ha provocado salinidad. Los problemas indicados explican el abandono de muchas de estas zonas, tales como las localizadas en Las Negras, San Juan de Flumen, entre otras. En las partes medias y basales de las vertientes los procesos de salinización y de sodificación han creado igualmente problemas importantes para el uso agrícola de estas tierras.

En las posiciones de fondo cabe distinguir las llanuras aluviales del río Flumen, los de los barrancos tributarios y las depresiones. En la llanura aluvial del Flumen, sobre los suelos de mejor calidad de la comarca, se localizan los regadíos antiguos; en ellos sólo aparecen ligeros problemas por salinidad hacia el sur, aguas abajo de Lalueza. Los fondos de los barrancos tributarios del Flumen están afectados por salinidad en la mayoría de los casos. Sin embargo, en la zona de Senés, Torralba y Tardienta, los materiales de las vertientes que flanquean los barrancos presentan lutitas con yeso. La erosión de estos materiales y su deposición en los fondos ha frenado los procesos de sodificación a causa del yeso.

En depresiones tales como la de Callén o la de la laguna de Sariñena, los suelos han sufrido importantes procesos de salinización y sodificación.

b. Variabilidad espacio-temporal de la salinidad.

b.1. Ambito general del sistema de riego.

Un estudio de suelos encargado por IRYDA en 1975 evaluaba que más del 50% de la superficie de los regadíos del Flumen (Huesca) tenía problemas de salinidad. Dada la importancia del tema y su incidencia sobre la producción de los cultivos se hace necesario un seguimiento de la variabilidad espacio temporal de la salinidad en este sistema agrícola de regadio.

A este respecto ha resultado de interés recuperar los análisis realizados a lo largo de los años (IRYDA, 1975, Herrero, 1979) y compararlos con los niveles de salinidad correspondientes a las mismas parcelas (Figs. 18 y 19). Estos trabajos (Herrero, 1987) han llevado a las siguientes conclusiones.

Las previsiones de evolución de la salinidad hechas en 1975 pueden considerarse acertadas para el conjunto de las parcelas estudiadas teniendo en cuenta la densidad de observaciones y la escala utilizada.

En las parcelas que se calificaron como "Clase 5: Suelos con necesidad de control y/o pendientes de recuperación", se aprecia recuperación en las parcelas donde se detectaron sólo ligeros problemas en 1975. Las parcelas peores se deterioraron hasta 1985. Las intermedias disminuyen CE_e 100 y aumentan SAR_p 100, marcando una sodificación. En futuros estudios será interesante incorporar el índice SAR ponderado, para compensar algunos sesgos debidos al muestreo.

La fuerte variabilidad espacial de la salinidad requiere prospecciones a escalas mayores, con localización de los puntos prospectados sobre plano parcelario, para establecer tendencias salinas de los suelos con expresión de las superficies afectadas. Esta labor debe ir acompañada del registro de cultivos por parcela para disponer del correspondiente historial. Para ello se necesitará personal especializado con medios de encuesta y control: sensores de salinidad, percepción remota, prospección clásica, etc.

Las buenas correlaciones entre CE_e y CE 1:5 permiten abordar el seguimiento sobre el terreno con personal no especialista y equipamiento simple, si bien deben afinarse las correlaciones en función de diversos aspectos, como por ejemplo el manejo espefícico de los suelos con cultivo de arroz. Los resultados obtenidos con sensores de salinidad (Aragües, 1986), contrastados parcialmente para esta zona en la campaña de 1985, permiten prever un abaratamiento notable de la monitorización de la salinidad en los suelos de los regadíos.

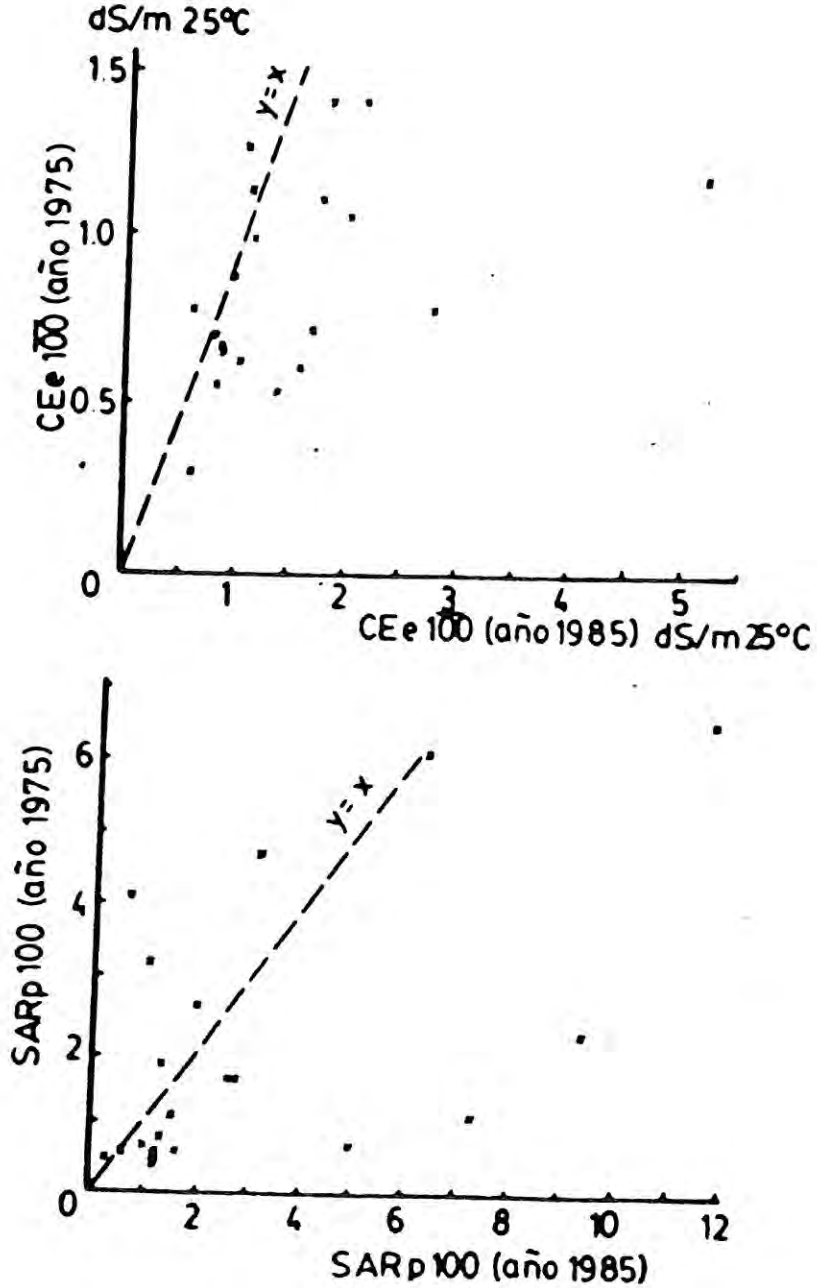


Fig. 18 .- Variabilidad espacio temporal de la salinidad: Conductividad eléctrica ponderada, (EC_e 100) y SAR más desfavorable (SAR_p 100), para un espesor de 100 cm, de parcelas en que no se preveían problemas de salinidad en 1975. La recta y=x separa las parcelas mejoradas de las empeoradas (Herrero, 1987).

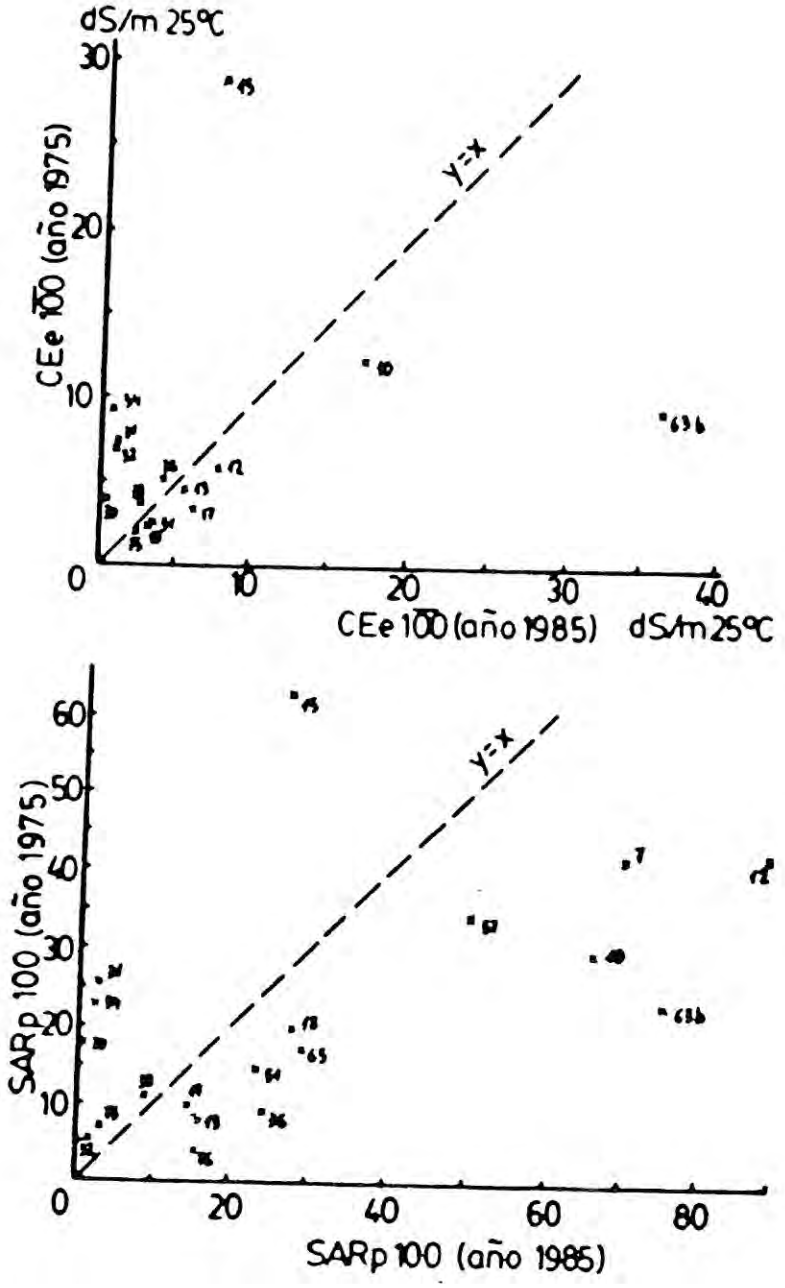


Fig. 19.- Variabilidad espacio-temporal de la salinidad: Parcelas afectadas por salinidad en 1975. La línea y=x separa las parcelas mejoradas de las empeoradas (Herrero, 1987).

b.2. Variabilidad espacial de la salinidad en parcelas con diferentes cultivos.

Se han estudiado los efectos de la salinidad en diferentes cultivos y para varios niveles de salinidad en el suelo, en parcelas experimentales.

Los muestreos de campo con barrena y los análisis de laboratorio se han combinado con medidas de campo "in situ" con el sensor electromagnético (SEM) y con la sondar de cuatro electrodos (S4E).

Cultivo de arroz:

Las parcelas de este ensayo tienen importantes problemas de salinidad y está parcialmente cultivadas con arroz. Los resultados para el conjunto de las parcelas se indican en el Cuadro nº 57.-

Cuadro nº 57.- Ecuaciones que relacionan las medidas de salinidad en laboratorio (CEe y CE 1:5 en dS/m a 25 °C) con las medidas efectuadas con el sensor 4E (en ohms).

Ecuaciones	r	Número de muestras analizadas
CEe = -0.175 + 7.403 x CE1:5	0.949	268
CEe = 64.084 x exp (-0.825)	0.892	266
CE 1:5 = 6.158 x exp(-0.707)	0.897	299

La Fig 20. muestra la variación espacial de la salinidad medida con el SEM, utilizando un retículo cuadrado de 10 x 10 m.

Una vez realizadas las medidas, la parcela fue cultivada con arroz y sometida a inundación continua. Tan pronto las condiciones de traficabilidad del suelo lo permitieron, se volvieron a realizar medidas de salinidad.

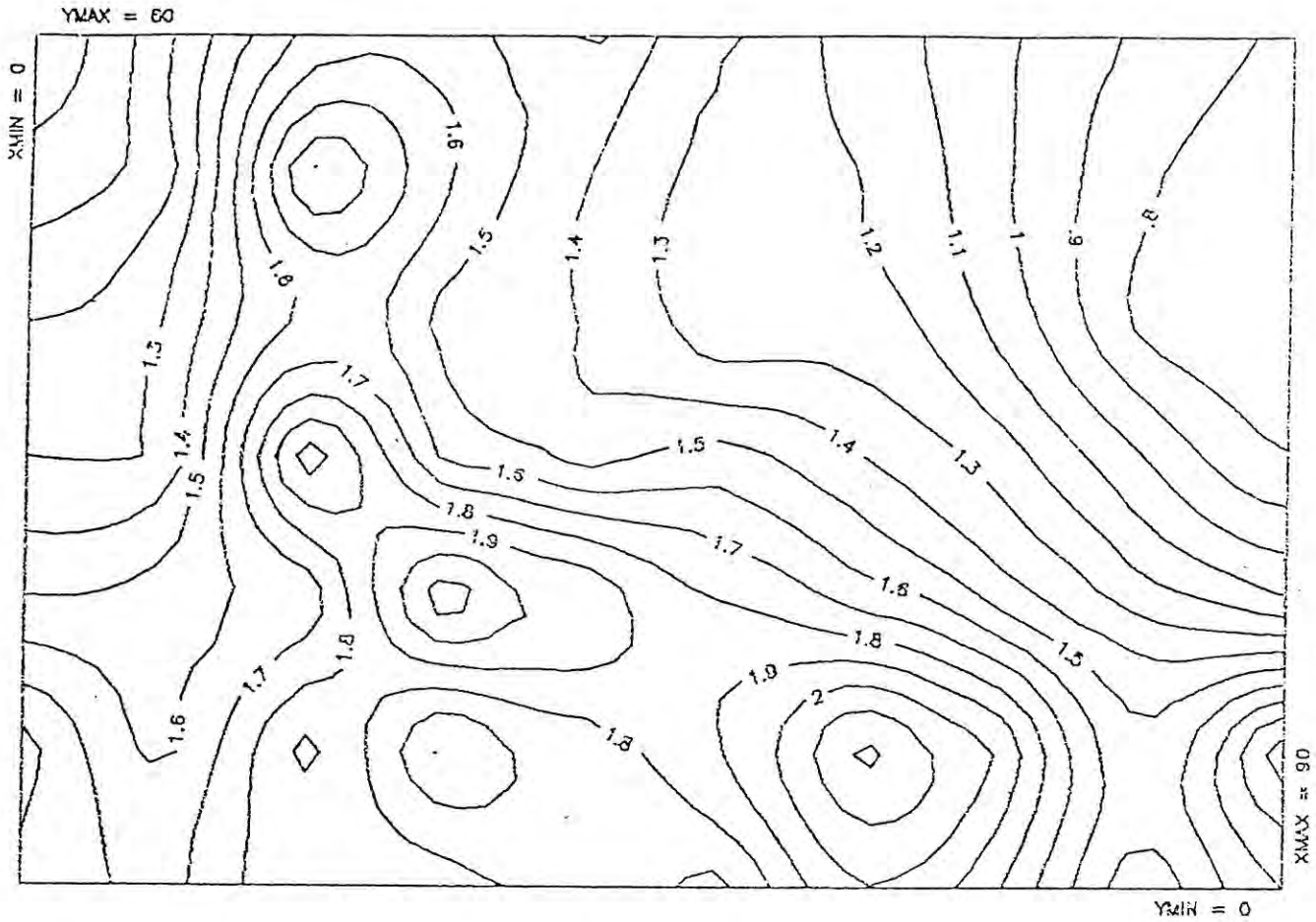


Fig 20.- Isolíneas de conductividad eléctrica, medidas con el sensor electromagnético 9SEM) en 1988, antes de su inundación para el cultivo del arroz.

Cultivo de Maiz:

La relación encontrada entre la CEe y la CE 1:5 para 40 muestras de suelo es:

$$CEe = 1.306 + 5.011 \times CE\ 1{:}5 \qquad (r = 0.958)$$

La parcela estudiada mostró una fuerte variabilidad en cuanto al crecimiento del maiz. Mientras en algunas zonas el cultivo tenía un buen aspecto, en otras, la producción fue nula, debido a que las plantas eran muy pequeñas o bien estaban muertas. En algunas zonas, la implantación del cultivo fue nula.

En la parcela se establecieron 52 puntos de control en celdas de 10 x 10 m. Los parámetros medidos en estos puntos fueron la CE aparente con el SEM en sus disposiciones vertical y horizontal. Las medidas se tomaron antes de la siembra del maiz y su distribución espacial se representa en las figuras 2 y 3. Al final de la fase de desarrollo, se midieron en hileras de 2 metros de longitud, los siguientes parámetros:

- el número de plantas y de mazorcas.
-el peso fresco y seco de las mazorcas.
-el peso del zuro de la mazorca.
-producción de grano de maiz.

En el Cuadro nº 58 se indican algunos coeficientes de correlación entre los parámetros citados.

Cuadro n´º 58.- Coeficientes de regresión entre algunos parámetros medidos en la parcela de maiz.

VARIABLES			
X	Y	r	r^2
CE aparente (SEM h)	CEe a 100 cm de profundidad	0.992	0.832
CE 1:5 a 100 cm de profundidad	Peso de grano de maiz	-0.836	0.699
CEe a 100 cm de profundidad	Peso de grano de maiz	-0.895	0.801
CE aparente (SEM h)	Peso de grano de maiz	-0.779	0.607

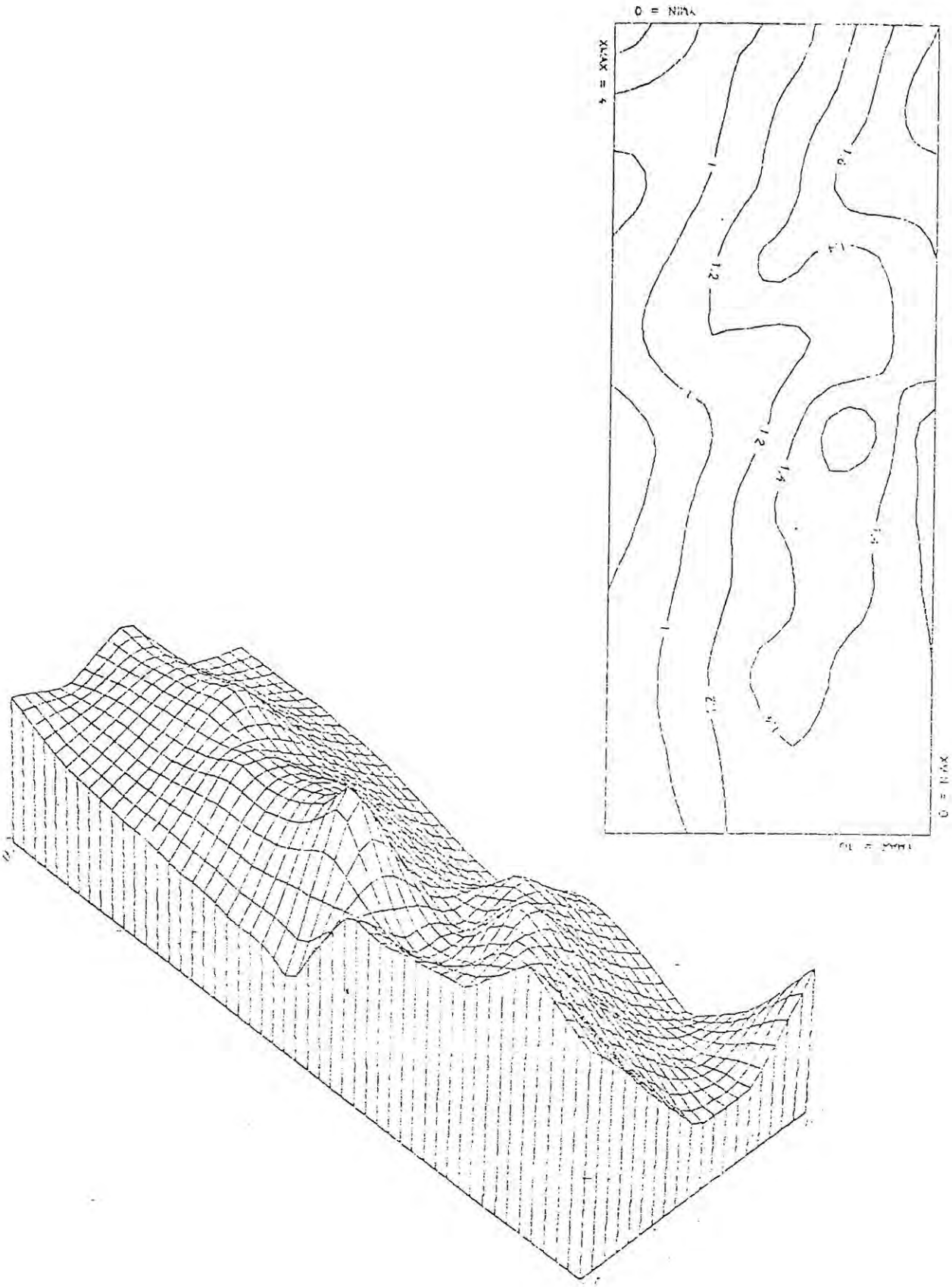


Fig 21 .- Distribución espacial de la conductividad eléctrica medida con un sensor electromagnético en disposición horizontal en una parcela cultivada de maiz.

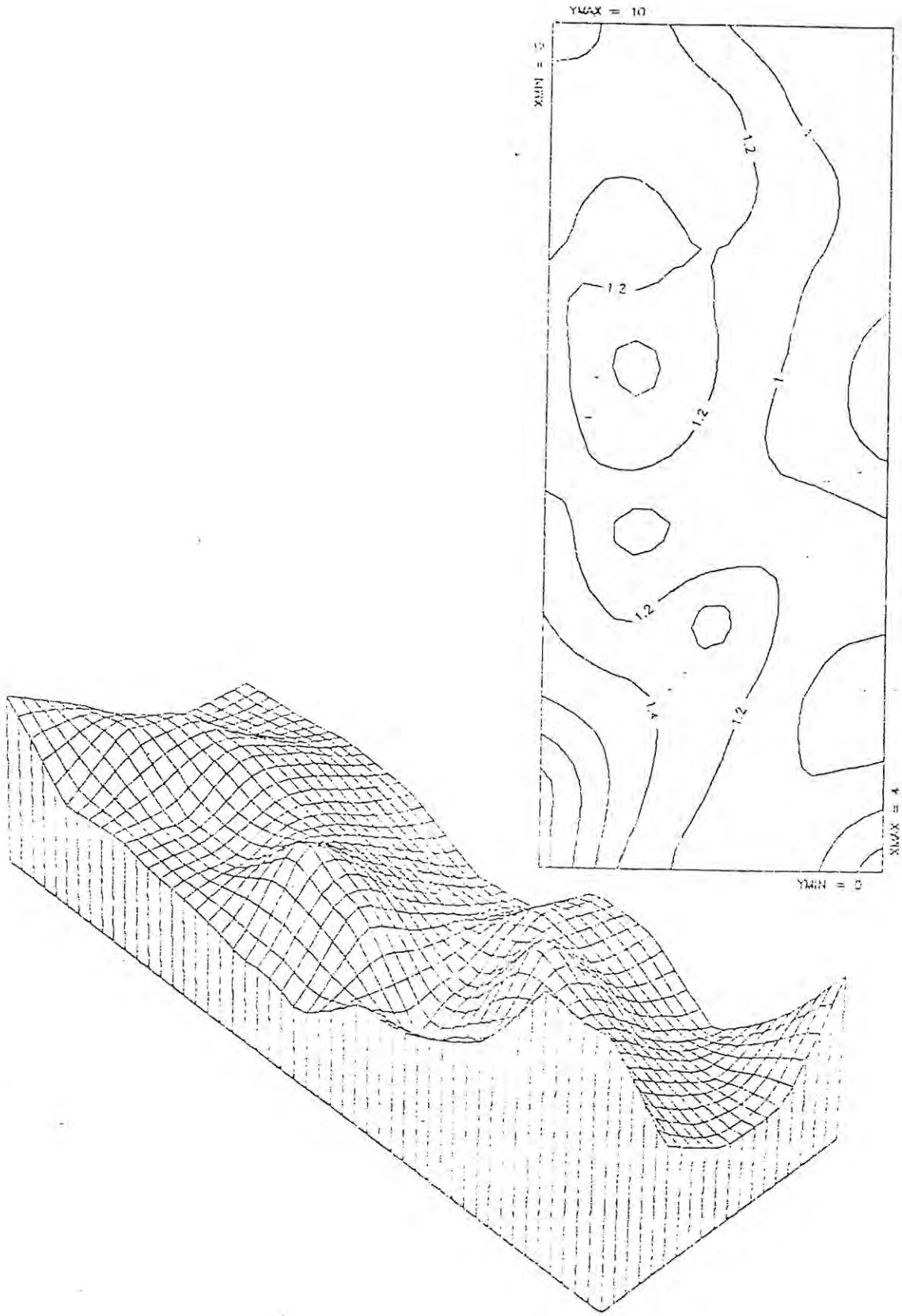


Fig 22.- Distribución espacial de la conductividad eléctrica medida con un sensor electromagnético en disposición vertical en una parcela cultivada de maiz.

Pradera polifita:

La relación encontrada entre la CEe y la CE 1:5 para un total de 45 muestras de suelo es:

$$CEe = 0.195 + 5.309 \times CE\ 1:5 \qquad (r = 0.928)$$

La variabilidad de las condiciones de salinidad en la parcela fue muy clara, evidenciada por la vegetación que se instaló junto con la mezcla de especies pratenses sembradas, tal como se refleja en la Fig. 23.

La variabilidad de la CE aparente, medida con el SEM en disposición horizontal y vertical, se refleja en las figuras 24 y 25.

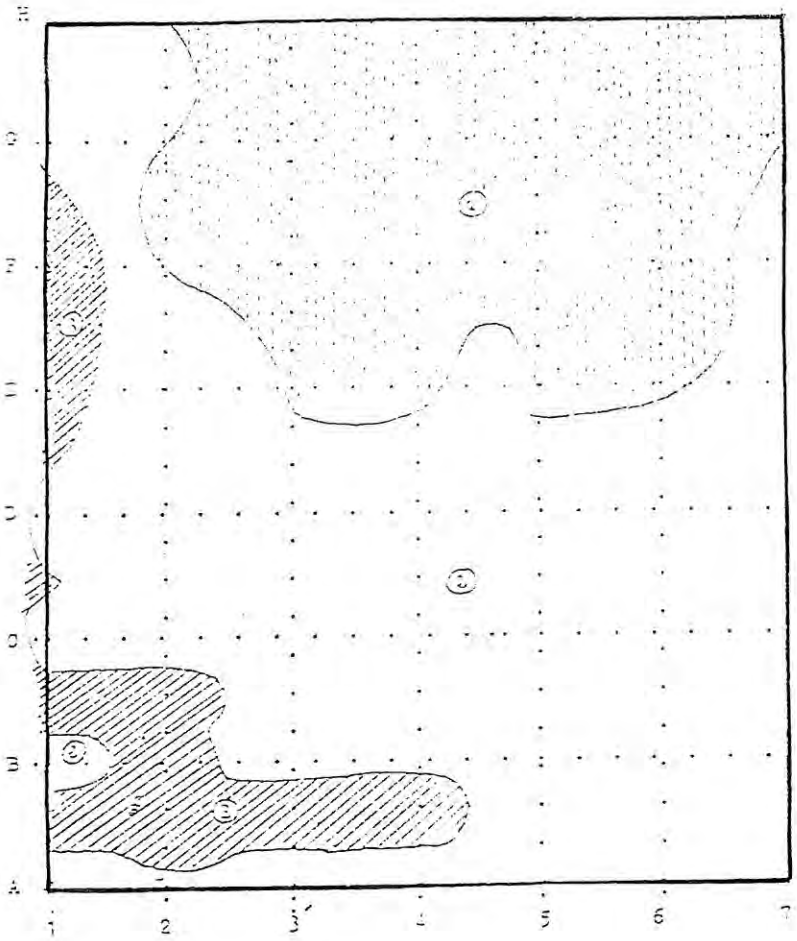


Fig 23.- Distribución de la vegetación halófila, en una pradera polifita, establecida en un suelo salino-sódico.
1. Pradera polifita (Gramíneas y trebol), 2. Puccinellia > 75%., 3. Puccinellia < 50% + Salicornia + Tapices de algas.

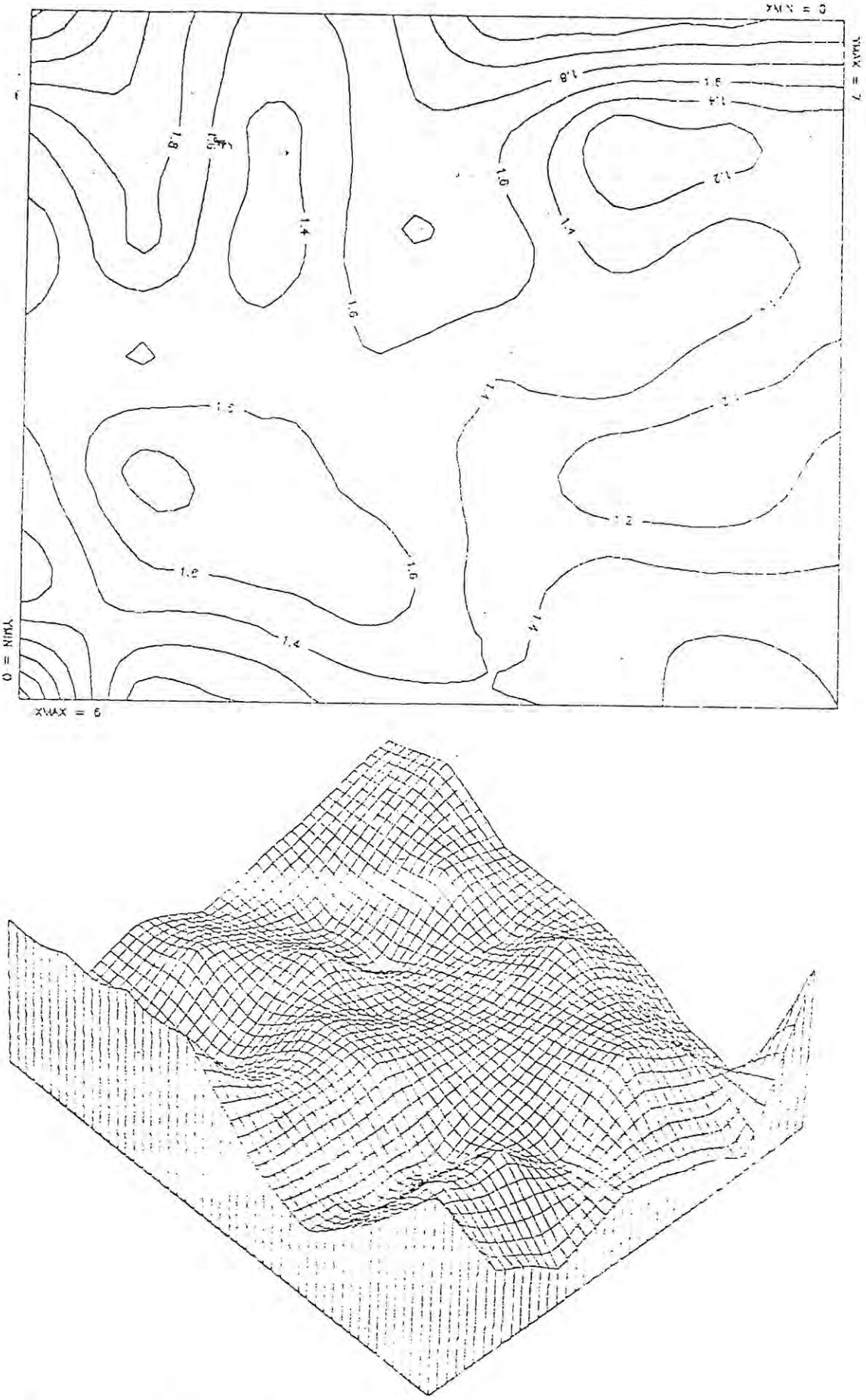


Fig 24.- Distribución espacial de la conductividad eléctrica medida con sensor electromagnético (SEM) en disposición horizontal en una parcela de pradera polifita.

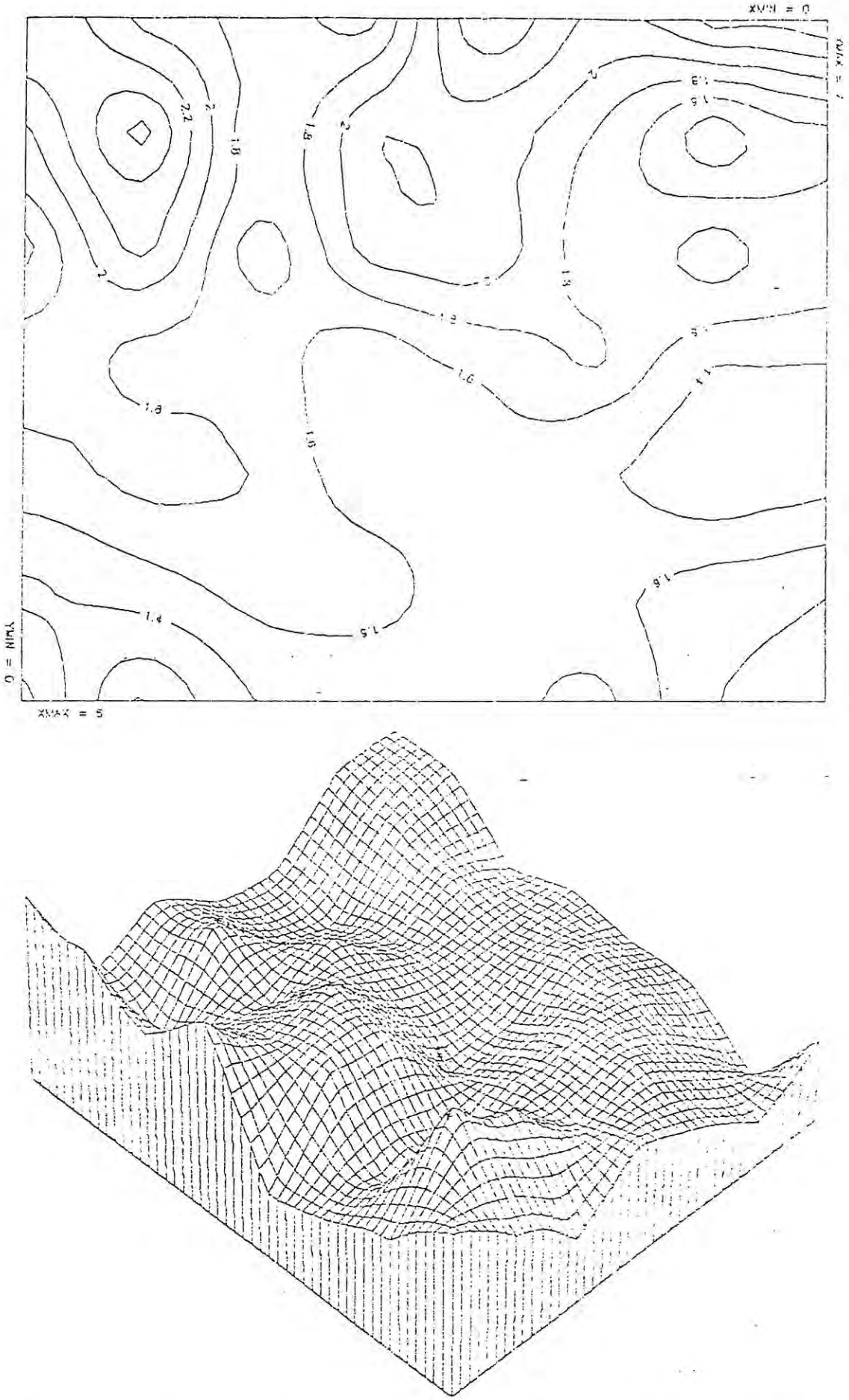


Fig 25.- Distribución espacial de la conductividad eléctrica medida con SEM en disposición vertical en una parcela de pradera polifita.

c. Suelos en regadío: Finca experimental de San Juan de Flumen.

Los suelos de la Finca experimental de San Juan de Flumen han sido objeto de estudios que han sido dados a conocer en la publicación titulada "Colmatación de drenes en suelos afectados por salinidad" (Herrero & al., 1989). Las conclusiones de este trabajo por lo que hace a los suelos son las siguientes:

Los suelos investigados son Torrifluvent xéricos, limoso-finos, mixto-calcáreos, térmicos, fase salina-sódica.

Se trata de suelos jóvenes, con preodminio de micas diotaédricas poco degradadas y clorita, lo que indica una escas meteorización Debe destacarse la ausencia de minerales expandibles.

La micromorfología ha sido especialmente útil para caracterizar las capas que presenta el hojaldre, de granulometrías perfectamente diferenciadas, cuya uniformidad dentro de cada una de ellas queda enmascarada con los análisis granulométricos clásicos.

La salinidad es muy elevada y se caracteriza por el predominio de sodio y cloruros. En período seco precipitará cloruro sódico, seguido en importancia por el sulfato cálcico y el magnésico.

Las características físicas de la superfície de estos suelos resultan extremadamente susceptibles a la degradación. Hay fuerte tendencia al sellado y formación de costra superficial, por salpicadura o por depósito de materiales arrastrados en suspensión desde ribazos u otras ondulaciones del terreno y formaición de costras salinas y bufados ("puffed").

La rápida colmatación de grietas y poros, junto a las bajas conductividades hidráulicas, explican unas velocidades de infiltración muy pequeñas.

Ello obliga a conseguir una porosidad funcional, bien sea por laboreo, bien favoreciendo plantas resistentes a la salinidad-sodicidad como el picutín (*Puccinellia*) u otras. Son útiles los aportes de materia orgánica, antes de emprender el intercambio del sodio y lavado de las sales solubles, para completar la floculación de las arcillas y conseguir una mejora duradera de la estructura.

Las labores profundas sin volteo, subsolados y otras, perpendiculares o en espina de pescado respecto a los drenes deberían igualmente ser ensayados para mejorar el movimiento del agua en el hojaldre. Las características de la superfície sugieren que las intervenciones de la maquinaria se hagan cuando ya exista una cubierta vegetal y sin eliminación de esta.

d. Colmatación de drenes.

El drenaje constituye el paradigma para la mejora de suelos afectados por salinidad. La rentabilidad de un sistema de drenaje sólo puede quedar asegurado si éste es operativo durante un periodo suficiente para amortizar la inversión .

Se ha estudiado la problemática del drenaje en suelos susceptibles de provocar traslocaciones de finos que al depositarse en los drenes conducen a su colmatación. Se remite a la publicación "Colmatación de drenes en suelos afectados por salinidad" (Herrero & al. , 1989) en la que se describe de forma detallada las investigaciones realizadas en este campo. Las conclusiones de estos trabajos son las siguientes:

- La instalación de un sistema de drenje en las condiciones de manejo de la finca experimental no ha logrado disminuir la salinidad de los suelos a los diez años de su implantación.

- Las bajas conductividades hidráulicas de los suelos pueden explicarse por la presencia del material hojaldre, con estructura sedimentaria y huecos co comunicantes. En el relleno de la zanja de instalación del dren debe tenerse en cuenta el colapso de los huecos, que da lugar a cavidades policóncavas no comunicantes y a rellenos. En el momento de ser rellenada la zanja de drenaje, este material tendría una conductividad hidráulica mucho mayor.

- Los drenes estudiados presentan colmataciones. Los de PVC no han llegado a rellenarse totalmente, lo que sí ha ocurrido en los cerámicos.

- Las envueltas de paja han tenido una duración menor y solo se conservan restos, mientras que las de coco y las de grava presentan buena conservación. Las de grava retienen mayor cantidad de finos y su porosidad está más colmatada que las de coco.

- Los parámetros utilizados en otros países para evaluar el riesgo de colmatación de drenes, D_{10}, C_u, no pueden aplicarse de forma directa en el caso de suelos con predominio de limo y salino-sódicos como los de San Juan de Flumen.

4. EVALUACION DE SUELOS PARA REGADIO

Las transformaciones en regadío en Aragón no han alcanzado todavía ni siquiera las previsiones de la Ley de Riegos del Alto Aragón promulgada en 1915, y la presión social a favor de los riegos se mantiene. Además los avances tanto en obras hidráulicas como en la tecnología del riego (elevaciones, aspersión, goteo), han suscitado expectativas de riego incluso en demarcaciones no dominadas por canales. Algunos de estos planes ya han sido ejecutados, con o sin financiación pública.

Estas circunstancias configuran a la evaluación de suelos para riego como uno de los temas aplicados de evidente interés. Ante la inexistencia de una cartografía sistemática de suelos a escalas detalladas así como la escasa investigación básica disponible, parece razonable aprovechar la experiencia de los regadíos ya existentes tal como indica la metodología USBR, no sólo para su mejora, sino también para evaluar futuras zonas regables y para contrastar las evaluaciones previas a la puesta en riego en aquéllos casos en que estas se aplicaron.

Este tema ha sido tratado (Porta & al., 1986) para el sistema de riegos Flumen-Monegros. Allí se discuten los enfoques del USBR y de la FAO y la necesidad de establecer experimentación y seguimiento si se quiere afinar la capacidad predictiva de estos métodos.

5. METODOLOGIA

5.1. Cartografía.

Se ha realizado la fotointerpretación, para la zona regada de Flumen-Monegros y áreas próximas, del vuelo USAF (1956) a escala aproximada de 1:33.000 habiéndose complementado con la del suelo del M.A.P.A. 1978 escala 1:18.000 en algunos sectores.

La superficie cartografiada supera las 60.000 ha. Se ha elaborado un mapa provisional, escala 1:100.000 de las unidades geomorfológicas.

5.2. Estudios de campo.

Se ha realizado una prospección de los suelos afectados por salinidad de la zona Flumen-Monegros. Se han estudiado más de 60 perfiles. En varios perfiles seleccionados se han realizado en campo las determinaciones, de velocidad de infiltración (método del doble anillo) y conductividad hidráulica (métodos Porchet y auger hole), y los muestreos necesarios para determinar la densidad aparente (método del anillo Kopecky) y para dos contenidos de agua a bajos potenciales matriciales. Así mismo se ha realizado el seguimiento de la evolución de la salinidad-sodicidad en base a prospecciones anteriores de IRYDA.

Finalmente se ha realizado para diversos cultivos el estudio de la variabilidad espacio-temporal de la salinidad utilizando el sensor electromagnético (SEM).

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). La definición de los horizontes se ha realizado según el Soil Survey Staff (S.S.S., 1987).

5.3. Caracterización analítica.

Se han analizado los suelos, materiales geológicos y aguas de acuerdo con los Métodos Oficiales del M.A.P.A. y con Porta & al. (1986).

- Reacción del suelo. Por potenciometría en una suspensión 1:2.5 suelo-agua.

- Materia orgánica. Método Walkley-Black a temperatura ambiente.

- Carbonato cálcico equivalente. Método del calcímetro de Bernard.

- Granulometría. Se determino la textura según Jackson (1979), con separación de las fracciones, previa eliminación de materia orgánica y sales solubles. Las arenas se determinaron por tamizado.

- Arcilla y limo fino naturalmente dispersos. Se utiliza el método de sedimentación discontínua (pipeta Robinson), sin destrucción previa de la materia orgánica).

- Contenidos de agua a diferentes Potenciales matriciales. Mediante placas cerámicas a -33kPa, -100 kPa, -500 kPa y -1500 kPa.

- Salinidad: Comprende las determinaciones de conductividad eléctrica en extracto (1:5). Realización de la pasta saturada: Humedad a saturación, pH en pasta saturada.
  En el extracto saturado se analizar los aniones , HCO_3^-, CO_3^{2-} por acidimetría, Cl^- por el método Charpentier-Volhard y SO_4^{2-} por turbidimetría. Los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} por complexometría y el Na^+ por espectrofotometría de emisión.

- Complejo de cambio. Se determinó el sodio y potasio extraible con acetato amónico 1N a pH = 7. El magnesio extraible con acetato sódico 1 N a pH 8.2., calculándose el calcio por diferencia entre la CIC y el resto de cationes extraibles.

  Las determinaciones se realizron por espectrofotometría de absorción atómica, Mg^{+2} y por emisión, Na^+ y K^+.

- Estabilidad estructural.
  Se ha evaluado la estabilidad estructural siguiendo las metodoogías de Emerson, W.W. (1967) y Loveday, J(19). Los criterios de los citados autores recogen las evidencias de dispersión e hinchamiento de los agregados simulando condiciones de campo con agua de riego y agua de lluvia (agua destilada). Así mismo se ha determinado los efectos de desestructuración "slaking", no claramente recogido en los métodos antes citados.

5.4. Mineralogía de arcillas y limos.

Previa descarbonatación con $AcONH_4$/AcOH a pH 5.5, se realizaron los difractogramas en polvo, agregado orientado seco al aire, agregado orientado tratado con etilenglicol y agregados orientados calcinados a 300 °C y a 500 °C durante 3 horas.

Los análisis por difracción de rayos X se han realizado en la U.E.I. de Mineralogía de arcillas del Instituto de Edafología, CSIC, Madrid con un difractómetro Philips PW 1130 (utilizando como radiación el K_α del Cobre y monocromado de grafito).

Los espectros infrarrojos se obtuvieron en un espectrómetro Perkin Elmer 680

utilizando discos de KBr y pasta Fluorolube. Las estimaciones semicuantitativas de los minerales presentes se obtuvieron integrando el área de los máximos de difracción característicos y utilizando los factores de intensidad existentes en la bibliografía.

5.5. Fluorescencia de rayos X.

La determinación de los elementos mayoritarios, minoritarios y traza se realizó por fluorescencia de rayos X utilizando pastillas prensadas. Para la calibración se hizo uso de los standares internacionales.

El equipo empleado fue Siemens SRS 300 (Tubo de Rh de ventana final) acoplado a un ordenador PDP 11/23. Las determinaciones se realizaron en la U.E.I. de Mineralogía de arcillas del Instituto de Edafología, CSIC, Madrid.

5.6. Mineralogía de arenas.

Se ha determinado la mineralogía de la fracción arena (200 > ø > 50 µm). Las muestras se han separado en bromoformo, obtiendo las fracciones pesadas (d > 2.82) y ligera (d < 2.82). Esta última fue sometida a tinción selectiva, utilizando cobaltinitrito sódico y hemateína, para diferenciar el cuarzo de los feldespatos y dentro de estos, los potásicos de los calcosódicos. La identificación se realizó con microscopio petrográfico.

5.7. Micromorfología y SEM.

Muestras de los mismos horizontes en que se fabricaron láminas delgadas, fueron estudiadas en lupa binocular. La técnica de impreganción fué la propuesta por Guilloré (1985). La descripción de las láminas delgadas se ha realizado de acuerdo con Bullock & al. (1985). La fábrica de los epipediones de los perfiles y del material laminado (hojaldre), así como los revestimientos de los horizontes con dichas evidencias macromorfológicas, fueron estudiados con MEB. Las determinaciones se realizaron con la ayuda del MEB del Servicio de Microscopia de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Finalmente se realizaron determinaciones microquímicas mediante EDAX, sobre lámina fina y en eflorescencias salinas, en el Servei de Microscopía Electróncia de la Universidad de Barcelona.

AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo acerca de los suelos de los regadíos Monegros-Flumen ha sido posible gracias a fondos CICYT (proyecto 8594).

La Diputación General de Aragón (CONAI, proyecto 132) subvencionó las investigaciones relacionadas con los drenes de San Juan de Flumen. Ambos proyectos se han desarrollado coordinadamente en el Servicio de Investigación Agraria (D.G.A., Zaragoza) y en la E.T.S.I.A. de Lleida.

La Inspección Regional del IRYDA y posteriormente la Dirección General de Ordenación Rural de la Diputación General de Aragón facilitaron la documentación de los proyectos de transformación y autorizaron el acceso a las fincas experimentales.

6. BIBLIOGRAFIA.

ALBERTO, F. & al. (1983): "El Cuaternario en la Depresión del Ebro". Universidad de Zaragoza.

ARAGüES,R. (1986): "Metodos de medida de la salinidad del suelo, I y II". Comunicaciones INIA, Serie General, nº 18. 172 pp.

BOLOS,O. (1973): "La vegetación de la Serreta Negra de Fraga". Mem. Real Acad. Ciencias de Barcelona. 42: 269-313 pp.

BRAUN-BLANQUET & BOLOS,O. (1957): "Les groupements vegetaux du bassin moyenne de l'Ebre et leur dynamisme". Anales Est. Exp. Aula Dei , 5(1-4): 1-266 pp.

BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & al. (1985): "Handbook for Soil Thin Section Description". Waine Research Publications. Wolverhampton, United Kingdom.

GUILLORE, P. (1985): "Fabrication mecanique et en serie des lames minces". INA-PG. Francia

HERRERO, J. (1982): "Salinidad del suelo en salobrares de Monegros y Somontano Oscense como condicionante de la vegetación". Institución Fernando el Católico. Zaragoza, 50 pp.

HERRERO, J. (1987): "Tendencias de la salinidad en suelos del sistema de riegos Flumen-Monegros". SMAGUA, Zaragoza. 413-421.

HERRERO, J. & ARAGÜES, R. (1988): "Suelos afectados por salinidad en Aragón". Revista Surcos de Aragón. Septiembre.

HERRERO, J.; R. RODRIGUEZ & J. PORTA (1989): "Colmatación de drenes en suelos afectados por salinidad". Institución Fernando el Católico. Zaragoza, 133 pp.

JACKSON, M.L. (1969): "Soil chemical analysis advanced course" Publ. by the author. Madison, Wisconsin.

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.I. Barcelona. 181 pp. más anejos.

MENSUA, S. & J. IBAÑEZ (1977): "Terrazas y glacis del centro de la Depresión del Ebro". Tercera Reunión Nacional Grupo de Trabajo del Cuaternario, 1-188 pp.

PENMAN (1977): "Las necesidades hídricas de los cultivos" FAO Irrigation and drainage paper nº 24.

PORTA & al. (1986): "Evaluación de suelos para riego: Criterios y problematica en los regadios de Huesca". En Herrero (Ed.): "Salinidad de los suelos: Aspectos de su incidencia en los regadios de Huesca". Diputación General de Aragón. Zaragoza.

QUIRANTES, J, (1978): "Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros" Institución Fernando el Católico. Zaragoza.

RICHARDS & al. (1954, 1969): "Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos". Ed. Limusa. México, 160 pp.

RODRIGUEZ VIDAL, J. (1976): "Geomorfologia de las sierras exteriores oscenses y su piedemonte". Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca, 172 pp.