

MACRO Y MICROMORFOLOGIA DE SUELOS CON YESO EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

F. J. ARRICIBITA VIDEAGAIN; A. ENRIQUE MARTIN; E. BARRAGAN LANDA y P. BESCANS MIQUEL

Area de Edafología y Química Agrícola. Dpto. Ciencias del Medio Natural. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadía s/n. 31006 PAMPLONA.

Abstract: Macro and micromorphological, and chemical data from four soil profiles are presented. The studied soils were located in the south of the province of Navarra, at about 400 m. above sea level. They were developed over gypsum or gypsum-enriched materials, the topography being flat or with a slight slope. The soil moisture regime is aridic or aridic-xeric limit. The above-mentioned characteristics determine the peculiar soil evolution, with a development of gypsic horizons, sometimes accompanied by calcic or cambic horizons. The soils are classified as Cambic Gypsiorthid, Typic Gypsiorthids, Aeric Fluvaquent and Aridic Calcixeroll (Cambic Gypsisol, Calcic Gypsisol Calcic Fluvisol and Gypsic Kastanozem, respectively, according to FAO/1994).

Key words: Macromorphology, Micromorphology, Soils, Gypsum, Navarra.

Resumen: Se presentan los datos macro y micromorfológicos, y químicos de cuatro perfiles que se encuentran en el Sur de la Provincia de Navarra, aproximadamente a 400 m de altitud, con régimen hídrico árido o límite xérico-árido, y desarrollados sobre yesos o materiales ricos en yeso, con una topografía suavemente inclinada o llana. Estas características determinan una evolución de los suelos en el sentido de formación de horizontes gypsic, en algunos casos acompañados de horizontes cálcicos o cámbicos. Los suelos se han clasificado como Gypsiorthid cámbico, Gypsiorthids típico, Fluvaquent aérico y Calcixerol árido (Gypsisol cámbico, Gypsisol cálcico, Fluvisol calcárico y Kastanozem gypsic, respectivamente, según FAO/1994).

Palabras clave: Macromorfología, Micromorfología, Suelos, Yeso, Navarra.

INTRODUCCION

Los suelos seleccionados presentan en común y como característica más relevante la presencia de cantidades variables de yeso, en general de hábito lenticular y, en ocasiones, con porcentajes muy importantes. La zona en la que se encuentran se caracteriza por un déficit marcado de agua, ya que se unen una precipitación escasa (350-400 mm anuales) y una evapotranspiración elevada. El

régimen hídrico del suelo llega a ser árido, en ocasiones marginal a xérico, según Soil Taxonomy (1975).

Los materiales geológicos que sirven de sustrato son terciarios, en general continentales, con abundante presencia de arcillas y yesos. Estos materiales pueden llegar a erosionarse con facilidad, proporcionando un paisaje sin gran energía de relieve. Muchos de ellos contienen, además de yesos, sales más solubles como cloruros y otros

sulfatos, que emigran con facilidad y se acumulan en los suelos que, o bien presentan dificultades en el drenaje, o una fuerte diferencia entre precipitación y evapotranspiración, o ambos aspectos. Esta dificultad en el lavado de los suelos nos lleva a que aparezcan como suelos salinos, con conductividad eléctrica moderada o elevada y valores de pH básicos.

El factor climático unido a la naturaleza del material originario, supone un fuerte impedimento para el desarrollo de la vegetación, limitado por la falta de agua en el suelo o por la naturaleza de ésta, cargada de sales. No obstante existen amplias zonas, aquéllas donde el régimen hídrico no es típicamente arídico, en las que el desarrollo de cereal de secano es bueno (perfil 2), y otras (las menos modificadas por el hombre, como el perfil 1) en las que existe bosque mediterráneo residual, llegando en ocasiones al desarrollo de epipedones mólicos (perfil 4). En el perfil 3 a los rasgos de hidromorfía, perfectamente reconocibles en lámina delgada, se asocian situaciones de alta salinidad, hecho que se plasma en una vegetación natural de pastos halofíticos (*Suaeda vera*, *Salsola vermiculata* y otras especies indicadoras de salinidad) e hidrófila (*Juncus sp.*).

MATERIAL Y METODOS

Se han seleccionado cuatro perfiles desarrollados en la zona sur de Navarra, a lo largo del valle del río Ebro, sobre yesos o materiales enriquecidos en yeso para su estudio macro y micromorfológico. Se han realizado las determinaciones analíticas siguientes: análisis granulométrico (método internacional modificado por la pipeta de Robinson), pH en pasta saturada de agua (electrodo de vidrio y calomelanos), materia orgánica y carbono orgánico (oxidación por dicromato potásico en medio sulfúrico), nitrógeno orgánico (método Kjeldahl), carbonato cálcico equivalente (método del calcímetro de Bernard), conductividad del extracto de saturación (método del Soil

Conservation Service, 1972) y yeso equivalente (método gravimétrico: precipitado como sulfato de bario). El estudio micromorfológico se ha realizado sobre láminas delgadas obtenidas de muestras de suelo incluidas en material plástico (cronolita) y pulidas hasta conseguir el espesor adecuado (30 - 35 μ) en un equipo Logitech modelo PM2. La descripción se ha realizado de acuerdo con la terminología propuesta por Bullock y col. (1985), utilizando un fotomicroscopio petrográfico Carl Zeiss. La caracterización de los tipos de suelos se ha llevado a cabo utilizando Soil Taxonomy (1990) y FAO (1994).

RESULTADOS Y DISCUSION

Morfología y situación de perfiles: Los cuatro perfiles estudiados están situados en el tercio sur de Navarra, a altitudes que oscilan entre 360 y 400 m, en posición fisiográfica llana o prácticamente llana. Mientras el perfil 1 soporta un bosque residual de *Quercus* con sotobosque de *Juniperus* y especies acompañantes típicas como *Ligeum spartum* y *Dorichnium penthaphillum*, los perfiles 2 y 4 presentan usos de cereal de secano y repoblación de pinos acompañado de plantas aromáticas, respectivamente. La mayor limitación, como se ha apuntado anteriormente, la presenta el perfil 3 con vegetación halofítica e hidrófila.

La secuencia de horizontes es variable. Los perfiles 1, 2 y 4 tienen en común la existencia de horizontes de acumulación de yeso edáfico (horizontes gypsicos) a profundidad variable, y están relacionados con materiales parentales yesosos. El perfil 1 presenta un horizonte cámbico por encima del horizonte gypico, mientras que en los perfiles 2 y 4 aparecen horizontes cálcicos sobre el Cy1. Además, el perfil 4, coincidiendo con las condiciones menos áridas, tiene en superficie un epipedón que cumple los requisitos de mólico. En el perfil 3, desarrollado sobre una terraza de inundación y fondo aluvial y, por tanto, sin incidencia directa de yeso primario, no

aparece ningún tipo de horizontes de diagnóstico a excepción de un epipedón ócrico.

Las texturas son siempre finas, de arcillosas a arcillo limosas, y las estructuras son en general fuertes y bien desarrolladas, excepto en aquellos horizontes gypsicos con porcentajes muy altos en yeso en los que aparecen como masivos.

Es de destacar la existencia de rasgos macromorfológicos particulares en los distintos perfiles: yeso vermiforme en el perfil número 1, manchas blancas debido a segregaciones de carbonato cálcico en los perfiles 2 y 4, y manchas pardo amarillentas de segregaciones de óxidos de hierro, sobre fondo gris, en el perfil número 3.

Regímenes hídricos y térmicos: Utilizando los datos climáticos suministrados por las estaciones meteorológicas próximas (Liso y col., 1969) y siguiendo los criterios de Soil Taxonomy, se han diagnosticado regímenes hídricos de tipo arídico o arídico marginal a xérico. Los regímenes térmicos son méxicos.

Datos analíticos: Los datos más relevantes se presentan en la Tabla 1.

Micromorfología (CUADROS 1, 2, 3 y 4): Las microestructuras de los horizontes superficiales son complejas, predominando los agregados subangulares y granulares en porcentajes variables para los distintos perfiles. Los horizontes gypsicos de los perfiles 2 y 4 presentan una microestructura de granos compactados con dominios de no agregada con cavidades y sin microestructura determinada respectivamente. En cambio, el gypsicico del perfil 1 presenta una microestructura en bloques subangulares, bien desarrollada. La porosidad es abundante en los horizontes superficiales, sobre todo en aquellos horizontes con fuerte acumulación de materia orgánica (perfil 1 con vegetación de bosque residual y perfil 4 con epipedón móllico) dominando los huecos de edaforasgos más comunes son los cristalinos, tanto de yeso en forma de rellenos densos completos y densos incompletos y revestimientos, como de calcita micrítica en relación con poros. Es de destacar la existencia

de edaforasgos de contextura en el horizonte gypsicico del perfil 1 en relación con poros creados por actividad biológica. Es el denominado pseudomicelio de yeso según Stoops (1981), o yeso vermiforme según Porta (1986). Aparecen, además, disposiciones arqueadas de cristales lenticulares de yeso en los horizontes inferiores del perfil 3, presentando una dirección tangencial a las paredes de los poros. Así mismo, encontramos edaforasgos amorfos de diversa morfología y de naturaleza férrica, mangánifera y/o ferromangánifera. En el perfil 3 aparecen, además, edaforasgos amorfos de titanio en uno de los horizontes, hecho achacable, muy probablemente, al origen de los materiales, terraza de inundación y fondo aluvial. Como edaforasgos excrementales, los hay de muy diversa tipología si nos atenemos a los criterios de forma, coloración, relación entre ellos, etc. Los hay de naturaleza orgánica, casi siempre en relación con restos orgánicos, y de naturaleza organo-mineral, contribuyendo a la buena estructuración y aireación de los horizontes superficiales.

Discusión: El clima semiárido, con los regímenes hídricos antes mencionados, es factor determinante en la formación de estos suelos, lo que unido a las posiciones fisiográficas, texturas finas y dificultades de drenaje, hace que exista un medio idóneo para la presencia y acumulación de yeso e incluso sales más solubles, así como en determinadas ocasiones caracteres de hidromorfía.

A pesar de esta aridez los contenidos de materia orgánica en los horizontes superficiales son elevados. Es una materia orgánica muy evolucionada, confirmándose este hecho en el estudio micromorfológico al observarse un predominio de material orgánico fino amorfo sobre restos vegetales. Los restos vegetales son, normalmente, raíces en estado de conservación variable, aunque en general bueno, tal y como se aprecia micromorfológicamente.

Los contenidos en yeso constituyen la propiedad más relevante. Micromorfológicamente podemos afirmar que todo el yeso que aparece en los perfiles es edáfico, bien de tamaño arena,

Tabla 1. Datos analíticos y morfológicos de los perfiles estudiados

Horizonte	Prof. (cm)	Color húmedo	Color seco	Manchas de color	Textura USDA	C. Org. (g kg ⁻¹)	CN	pH pasta (H ₂ O)	C.E. dS m ⁻¹	CO ₂ Cu eq. (%)	Yiso eq. (%)
Perfil 1. <i>Gypsiorthid cámbico</i> (Soil Taxonomy, 1990). <i>Gypsisol cámbico</i> (FAO, 1994)											
A1	0 - 20	2,5Y 5/2	10YR 7/1	---	Ac. L.	57,4	14,00	7,30	2,36	25,70	0,22
A2	20 - 45	10YR 5/3	10YR 7/3	---	Ac. L.	18,0	6,92	7,45	9,77	25,80	0,38
Bw	45 - 70	10YR 5/3	10YR 7/1	Blancas	Ac. L.	14,3	7,94	7,60	13,32	19,35	18,66
Cy	70 - 130+	10YR 7/3	2,5Y 8/2	Blancas	Ac.	---	6,36	7,70	14,28	23,48	26,11
Perfil 2. <i>Gypsiorthid típico</i> (Soil Taxonomy, 1990). <i>Gypsisol cálcico</i> (FAO, 1994)											
Ap	0 - 25	10YR 4/2	10YR 6/4	---	Ac. L.	15,6	9,75	7,65	1,41	16,65	27,52
Ak1	25 - 60	10YR 3/2	10YR 4/2	Blancas	Fr. Ac. L.	17,7	9,83	7,60	2,54	23,84	5,07
Ak2	60 - 85	10YR 4/2	10YR 6/2	Blancas	Ac.	13,9	9,27	7,90	1,74	31,60	30,13
Cy1	85 - 135	10YR 7/3	10YR 8/1	Blancas	---	2,50	4,17	7,70	1,47	9,66	88,04
C2	135 - 160+	7,5YR 6/6	7,5YR 8/4	---	Ac.	1,90	3,80	7,75	1,35	12,84	70,20
Perfil 3. <i>Fluvaquent nérico</i> (Soil Taxonomy, 1990). <i>Fluvisol calcárico</i> (FAO, 1994)											
A1	0 - 15	10YR 4/2	10YR 6/1	---	Ac. L.	36,7	9,92	7,65	2,09	17,82	8,56
A2	15 - 50	10YR 5/2	10YR 7/1	10YR 5/8	Ac. L.	7,30	7,30	7,90	12,97	10,91	31,18
C1	50 - 85	2,5Y 5/2	10YR 7/1	10YR 5/8	Ac.	3,70	5,28	8,10	19,33	17,45	34,95
C2	85 - 90+	2,5Y 6/2	10YR 7/1	10YR 6/6	Ac.	3,10	6,20	8,30	18,32	18,18	42,17
Perfil 4. <i>Calcixerol arídico</i> (Soil Taxonomy, 1990). <i>Kastanozem gypsic</i> (FAO, 1994)											
Ak1	0 - 35	10YR 3/3	10YR 5/3	Blancas	Ac.	32,9	9,22	7,55	2,15	16,58	5,77
Ak2	35 - 65	10YR 4/3	10YR 5/4	Blancas	Ac.	23,5	8,67	7,70	2,15	19,50	0,57
Cy1	65 - 150	10YR 7/2	2,5Y 8/0	---	---	---	---	7,90	2,15	6,83	88,16
Cy2	150 - 180	10YR 6/3	10YR 8/3	---	---	---	---	---	---	11,04	65,32
C3	180 - 200+	10YR 5/4	10YR 7/3	---	L.	---	---	---	---	16,32	56,87

CUADRO 1. Resumen de las características micromorfológicas del perfil 1
(*Gypsiorthid cámbico*)

Horizonte	A1	A2	Bw	Cy1
Microestructura Porosidad:	Compleja, en bloques subangulares, muy finos, moderada y en mucha menor proporción granular de fina a ultrafina. Porosidad frecuente. Huecos de empaquetamiento compuesto y cavidades y muy escasas grietas.	Microestructura similar a la del horizonte A1. Porosidad menos abundante, aunque mismos tipos de poros y similares porcentajes relativos entre los distintos tipos.	En bloques subangulares muy finos, de fuerte a moderada. Porosidad menos frecuentes. Dominan los huecos de empaquetamiento, grietas y cavidades. Muy escasos canales.	En bloques subangulares muy finos, de fuerte a moderada. Porosidad escasa. Dominan grietas y cavidades. En menor proporción huecos de empaquetamiento y canales.
$G/Ax; x =$	5 μ m	5 μ m	5 μ m	---
Gx/Lx	4/6	2/8	2/8	---
Distribución Relacionada:	Porfirica.			
Contextura de litrefringencia:	Cristalítica.			Cristalítica con dominios de estrada paralela.
Constituyentes Minerales Gruasos: Cuarzo	Arena fina a muy fina, irregulares. De angulares a subangulares. En general equidimensionales. Distribuidos al azar. Muy escaso.			No se observan.
Constituyentes Minerales Gruasos: Yeso	No se observan.		Arena muy fina a limo. Lenticulares. Muy raro.	Ausente en la masa del suelo. En forma de edaforasgos.
Constituyentes Minerales Gruasos: Calcita	Arena muy fina a limo. Granos irregulares, de angulares a subangulares, equidimensionales. Al azar. Dominante.	Arena media y fina a limo. Irregulares aunque en general equidimensionales. Subangulares a subredondeados. Al azar. Dominante.	Arena media a limo. Irregulares aunque en general equidimensionales y subredondeados. Al azar. Dominante.	No se observan.
Material fino:	Aspecto punteado. Constituido por arcilla y carbonato cálcico, con impregnación variable de material orgánico. Coloración variable, desde pardo grisáceo muy oscuro en A1 hasta pardo en Bw.			Aspecto limpio y moteado según zonas. Arcilla y carbonato cálcico. Color pardo grisáceo.
Constituyentes orgánicos:	Muy escasos restos de tejidos y restos de órganos, algunos fuertemente melanizados y otros ricos en flobafenos. Abundante material orgánico fino amorfo, células y restos de células, microgranos y pigmento. Abundante, si bien disminuye con la profundidad. Escasos restos carbonizados y pseudomorfosis por carbonato cálcico en superficie.			Mucho menos frecuentes. Dominan los restos de órganos (raíces). Impregnaciones muy locales, fuertes.
Edaforasgos cristalinos:	Raros revestimientos de calcita, muy finos, discontinuos, de poros y paredes de agregados. Escasos nódulos de calcita.	No se observan.	Frecuentes de yeso lenticular, densos completos, densos incompletos. Raros nódulos de calcita.	Muy abundantes de yeso, densos completos. Frecuentes revestimientos de calcita micrítica finos y discontinuos.
Edaforasgos Amorfos:	Diversos tipos de nódulos de diferente naturaleza a lo largo de todo el perfil. En general son de naturaleza férrica, manganesífera o ferromanganesífera.			
Edaforasgos de Contextura:	No se observan.	No se observan.	No se observan.	Rellenos densos completos del mismo material que forma el horizonte, mezclándose con cristales de yeso, en poros biológicos.
Edaforasgos Excrementos:	Muy pocos orgánicos y muy pocos organo-minerales.	Escasos orgánicos. Muy pocos organo-minerales.	Escasos orgánicos. Muy pocos organo-minerales.	Abundantes orgánicos de muy diversos tipos.

CUADRO 2. Resumen de las características micromorfológicas del perfil 2
(*Gypsiorthid típico*)

Horizonte	Ap	Ak1	Ak2	Cy1	C2
Microestructura Porosidad:	Compleja, en bloques subangulares de finos a medios, moderados y granular, fina y fuerte. Porosidad constituida fundamentalmente por huecos de empaquetamiento compuesto, pocos canales, grietas y cavidades.	Granular, muy fina, moderada. Rompe a ultrafina fuerte. Mayor porosidad que en Ap y Ak1, pero mismo tipo.	De granos compactados y dominios de no agregada con cavidades. Porosidad muy escasa: huecos y cavidades.	Compleja, con microagregados entre granos y no agregada con cavidades. Porosidad frecuente, huecos, cavidades y canales.	
Q/X_i, X_∞	10 μm	2 μm	5 μm	10 μm	5 μm
Gx/Lx	7,5/2,5	4/6	3/7	9/1	8/2
Distribución Relacionada:	Porfírica			Porfírica con dominios de Mónica.	Desde Porfírica hasta Mónica.
Contextura de Birrefringencia:	Cristalítica				
Constituyentes Minerales Gruesos: Cuarzo	Arena muy fina. De angulares a subangulares, equidimensionales. Al azar. Escaso.	Arena muy fina a fina. Irregular. Al azar. Más abundante	Arena fina a limo. Irregulares, de angulares a subangulares. Al azar. Frecuente.	No se observa	Muy raro.
Constituyentes Minerales Gruesos: Yeso	Arena Gruesa a limo. Lenticulares. Algunos con inclusiones de carbonato cálcico. Al azar. Frecuente.	No se observa.	Arena fina. Lenticulares. Distribuidos irregularmente. Escaso.	Arena gruesa, muy gruesa y grava hasta limo. Lenticulares. En ocasiones parcialmente alterados y con inclusiones de carbonato cálcico. Dominante.	
Constituyentes Minerales Gruesos: Mica	Muy raras laminillas de mica, tamaño limo, distribuido al azar.			No se observan.	
Constituyentes Minerales Gruesos: Calcita	Arena fina y media hasta limo. Granulación muy pobre. Irregular. Esfericidad y redondeamiento variable. Al azar. Escasa.		Arena fina y media hasta limo. Granulación muy pobre. Irregular. Esfericidad y redondeamiento variable. Al azar. Algo más abundante.	Tamaño limo. Irregulares. Subredondeados. Al azar. Rara.	Tamaño arena fina a limo. Irregulares. Angulares a subangulares. Escasa.
Material fino:	Aspecto punteado. Color pardo más o menos oscuro. Arcilla, carbonato cálcico y materia orgánica.	Aspecto punteado. Color pardo muy oscuro. Misma composición que Ap.	Aspecto punteado. Color pardo más claro. Misma composición.	Prácticamente inexistente. Constituido por yeso y carbonato cálcico.	Aspecto moteado. Muy escaso. Color amarillo-rojizo claro. Carbonato y baja proporción de arcilla.
Constituyentes orgánicos:	Frecuentes restos de raíces y material amorfo abundante. Microgranos, restos de células y pigmento.	Abundantes. Restos de órganos y gran cantidad de orgánico fino amorfo. Microgranos, restos de células y pigmento.	Muy raros restos de raíces ocupando canales. Escaso material orgánico fino. Microgranos, restos de células y pigmento.	No se observan. No se observa.	Prácticamente inexistente. No se observa.
Edafosmos Cristalinios de Yeso:	Rellenos continuos de yeso y yeso con carbonatos, sueltos, densos, incompletos.	Pocos rellenos incompletos de yeso.	Frecuentes rellenos densos completos y revestimientos de cristales de yeso.	Muy abundantes revestimientos y rellenos de cristales de yeso.	Menos abundantes que en el horizonte Cy1, pero de la misma naturaleza.
Edafosmos Cristalinios de Calcita:	No se observan.	Muy abundantes revestimientos muy finos de carbonato cálcico, fundamentalmente en poros, por cristales de calcita micrítica.		No se observan.	
Edafosmos Amorfos Nódulos de Hierro:	No se observan.	Muy escasos nódulos férricos.		No se observan.	
Edafosmos Amorfos Ferromanganesos:	No se observan.		Escasos ferromanganesos, al azar.	No se observan.	
Edafosmos De Contextura:	No se observan.			Disposiciones arqueadas de cristales lenticulares de yeso, en forma de rellenos.	
Edafosmos Escrímentos:	No se observan.	Muy abundantes orgánicos.		No existen.	

CUADRO 3. Resumen de las características micromorfológicas del perfil 3
(Fluvaquent aérico)

Horizonte	A1	A2	C1	C2
Microestructura Porosidad:	Compleja, en agregados granulares, de muy fina a ultrafina, fuerte, y bloques subangulares, muy fina y moderada. Porosidad frecuente. Huecos de empaquetamiento compuesto y fisuras. En menor cantidad cavidades y canales.	Compleja, en bloques subangulares, de mediana a fina, débil, y muy escasos agregados granulares, muy fina, moderada. Porosidad escasa. Huecos de empaquetamiento compuesto, canales y muy escasas cavidades.	Microestructura semejante al horizonte anterior, pero más débil. Porosidad menor que A2. Menor abundancia de canales y aumento porcentual de cavidades.	Compleja, no agregada con cavidades y dominios de bloques subangulares, ultrafinos, parcialmente acumulados. Porosidad frecuente (20%) con cavidades y huecos de empaquetamiento compuesto.
$G/Ax; x_{\pm}$	10 μ	10 μ	10 μ	5 μ
Gx/Lx	1,5/8,5	4,5/5,5 (dominios de 2/8)	4/6 (dominios de 2,5/7,5)	2/8
Distribución Relacionada:	Porfirica abierta con dominios de porfirica de espacio doble.	Porfirica abierta de espaciado sencillo. Zonas muy escasas de Endolite.		Porfirica abierta.
Context. Birrefring.	Cristalítica			
Fragmentos rocosos	No se observan.		Muy escasos, de naturaleza margosa. Tamaño arena muy gruesa y gruesa. De subredondeados a redondeados. Con impregnaciones de óxidos de hierro y recristalizaciones de calcita micrítica en grietas de algunos fragmentos.	
Constituyentes Minceos: Cuzco	No se observan.			Muy raro, tamaño limo y arena muy fina. Angular a subangular. Al azar.
Constituyentes Minceos: Yeso	Dominante (70-80% de la fracción gruesa). Arena media. Hábito lenticular. Granulación moderada. Distribución irregular.	Dominante (95% de la fracción gruesa). Desde limo a arena gruesa. Hábito lenticular. Distribución irregular. Orientación preferente en algunas zonas.	Dominante dentro de la fracción gruesa. Similar al del horizonte anterior.	Dominante dentro de la fracción gruesa. Similar al del horizonte anterior.
Constituyentes Minceos: Alca	No se observan.			
Constituyentes Minceos: Calcuta	Escasa. Tamaño medio arena muy fina. Buena granulación. Subangular. Al azar.	Muy escasa. Tamaño limo y arena muy fina. Buena granulación. De angular a subangular. Al azar.	Muy escasa. Similar al del horizonte anterior.	Muy escasa. Tamaño arena muy fina y limo. Irregulares. Al azar.
Material fino:	Aspecto punteado. Color de pardo amarillento a pardo amarillo rojizo (en A1) y pardo amarillo grisáceo (en A2). Carbonato cálcico, limo y arcilla, con impregnación variable de materia orgánica (fuerte en A1, más débil en A2)		Similar al horizonte anterior, pero de color algo más pálido.	Aspecto punteado. Color de pardo amarillento a grisáceo. Carbonato cálcico y arcilla.
Constituyentes orgánicos:	Frecuentes restos de órganos, raíces (bien preservadas) y restos de tejidos. Células y restos de células. Material orgánico fino polimórfico, puntuaciones y pigmento orgánico.	Muy pocos restos de órganos, raíces alteradas en el interior de canales. Muy pocos restos de tejidos y de células de color de pardo muy oscuro a rojizo. Muy pocas puntuaciones.	Menos abundantes. Se presentan las mismas formas, aunque desaparecen los restos de raíces.	No se observan.
Edafosmos Cristalinios de Yeso:	No se observan.	Abundantes rellenos de canales, densos completos y densos incompletos. Tamaño muy variable de los cristales, heterométricos, lenticulares, frecuentemente maclados. En algunos los cristales muestran tendencia a una disposición arqueada, tangente a las paredes del poro.		
Edafosmos Cristalinios de Calcuta:	Revestimientos de calcita micrítica, ocasionales, rodeando agregados, discontinuos.	Muy raros revestimientos de calcita micrítica, rodeando agregados, discontinuos, muy finos.		No se observan, salvo los relacionados con los fragmentos rocosos.
Edafosmos Amorfos Nódulos de Hierro:	No se observan.		Impregnaciones de tipos diversos, algunos con halo, muy pocos concéntricos. Frecuentes.	Nódulos típicos de arcilla y óxidos de hierro con impregnación débil a moderada, órticos. Arena fina. Límite difuso.
Edafosmos Amorfos Terromangániferos:	No se observan.			Concéntricos, órticos, límite neto y tamaño arena gruesa. Otros dendroides.
Edafosmos Amorfos Nódulos de Titanio:	No se observan.	Pocos muy irregulares, fuerte a moderadamente impregnados, pardo a pardo muy oscuro y negro con luz transmitida, blanco lechoso con luz incidente.		No se observan.
Edafosmos De Contextura:	No se observan.	Rellenos de canales, densos completos y densos incompletos. Tamaño muy variable de los cristales, heterométricos, lenticulares, frecuentemente maclados. En algunos los cristales muestran tendencia a una disposición arqueada, tangente a las paredes del poro.		
Edafosmos Excrementos:	Frecuentes, diversos tipos, en relación con restos vegetales.		No se observan.	

CUADRO 4. Resumen de las características micromorfológicas del perfil 4
(*Calcixerol arídico*)

Horizonte	Ak1	Ak2	Cyl
Microestructura Porosidad:	Compleja, en bloques subangulares, moderada, muy fina. En mayor proporción, esponjosa. Porosidad frecuente constituida por huecos de empaquetamiento compuesto y grietas. En menor proporción, aunque abundantes, pocos canales y cavidades.	Compleja, en bloques subangulares, fuerte, muy fina y granular muy fina. Porosidad frecuente, ligeramente inferior al horizonte anterior. Constituida por huecos de empaquetamiento compuesto y fisuras. Escasos canales y cavidades.	Horizonte masivo.
$C/Ax, x =$	10 μ m	10 μ m	---
Gx/Ix	4/6	2,5/7,5	---
Distribución Relacionada:	Porfirica		---
Contextura de Birefringencia:	En notas aisladas		Cristalítica
Fragmentos toscos:	Muy raros, de naturaleza margosa, equidimensionales, subangulares o redondeados. Tamaño variable, desde arena muy gruesa a media. Al azar.	Similar al horizonte Ak1, pero menos abundante.	---
Constituyentes Minerales Gruesos: Cuarzo	Escaso. Forma irregular. De angular a subangular. Granulación de moderada a buena. Tamaño de arena muy fina a limo grueso. Al azar.	Similar al horizonte Ak1, pero menos abundante.	---
Constituyentes Minerales Gruesos: Yeso	Muy escasos cristales lenticulares. Tamaño arena muy fina a limo.	No se observan.	Todo el horizonte está formado por cristales lenticulares de yeso, tamaño limo, fuertemente empaquetados.
Constituyentes Minerales Gruesos: Alita	No se observan.		
Constituyentes Minerales Gruesos: Calcita	Dominante. Formas muy irregulares. De angulares a subangulares y esferoidales. Granulación moderada a buena. Arena fina. Al azar.	Similar al horizonte Ak1, pero menos abundante.	No se observan.
Material fino:	Abundante. Aspecto punteado. Pardo y pardo oscuro, según zonas. Arcilla con fuerte impregnación de materia orgánica. Carbonato cálcico escaso.	Más abundante y de similares características que el horizonte anterior.	---
Constituyentes orgánicos:	Abundantes. Frecuentes restos de órganos, raíces, en diversos estados de preservación. En general bien conservados. Pocos restos de tejidos, algunos ricos en flobafenos. Puntuaciones y pigmento orgánico unido a la fracción mineral. En menor proporción células y restos de células.	Ligeramente más escasos aunque abundantes. Mismas características que el horizonte Ak1. En general con mayor incorporación a la fracción mineral. Impregnación regular.	Ausencia.
Edafosmos Cristalinos de Yeso:	No se observan.		En relación con poros, disposiciones ordenadas de cristales lenticulares.
Edafosmos Cristalinos de Calcita:	Muchos nódulos de calcita, típicos, irregulares, subangulares, subredondeados. Los hay microespartíticos, espartíticos, mezcla de ambos y de calcita micrítica. En algunos casos tendencia radial de los cristales. Algo más finos en Ak2 que en Ak1. Algunos micríticos presentan impregnación fuerte y desigual de óxidos de hierro.	Muy escasos en relación con poros y, en ocasiones, asociados a los de yeso.	
Edafosmos Amorfos Nódulos de Hierro:	Muy pocos típicos, puros, irregulares, de angulares a subangulares, límite neto, arena fina a muy fina y limo. Al azar.	No se observan	
Edafosmos Amorfos Ferromanganesos:	Pocos típicos, puros, redondeados, límite neto, arena fina a muy fina. Al azar.	No se observan	
Edafosmos Excrementos:	Abundantes excrementos orgánicos de diversos tipos y organo-minerales.	Muy abundantes excrementos de tipo organo-mineral.	No se observan

hábito lenticular y maclado en punta de lanza, o bien yeso microcristalino y forma de difícil reconocimiento. En el campo se aprecia como yeso pulverulento y coloración blanca (perfiles 2 y 4).

El perfil 1 presenta el llamado yeso vermiforme o pseudomicelio de yeso. Micromorfológicamente se trata de edaforasgos cristalinos, que corresponden a poros (normalmente canales de actividad biológica) que se encuentran densamente rellenos de cristales lenticulares de yeso, en ocasiones sin guardar una disposición determinada y otras presentando una disposición arqueada en media luna. Según Stoops (1981), este tipo de edaforasgos se localizan en suelos que no presentan una influencia directa del yeso primario. Este tipo de yeso, de hábito lenticular, indica una evidencia morfológica de que se ha formado como resultado de la recristalización de una solución, normalmente en poros creados por actividad biológica.

CONCLUSIONES

El desarrollo de suelos con yeso en Navarra viene ligado a situaciones topográficas llanas, materiales parentales en general de textura fina y ricos en yeso, y un régimen hídrico árido o arídico marginal a xérico.

El estudio micromorfológico ha corroborado el macromorfológico. Se han encontrado dos tipos de acumulación de yeso: el denominado macromorfológicamente pseudomicelio o yeso vermiforme que forma horizontes gypsicos con contenido en yeso equivalente del orden del 20% y que desde el punto de vista micromorfológico se traduce en rellenos densos completos de poros creados por actividad biológica, y otros con aspecto pulverulento, tacto farináceo en campo, que se caracterizan por contenidos considerablemente mayores de yeso equivalente (80-90%) y que conforman una masa de yeso microcristalino, en ocasiones con forma difícilmente reconocible, poco porosos y que definen la b-fábrica cristalítica gypsica desde el punto de vista

micromorfológico.

La dinámica de carbonatos puede conducir a la formación de horizontes cálcicos. También pueden encontrarse horizontes cámbicos.

El contenido en materia orgánica es relativamente alto y forma un humus de tipo mull eutrófico, llegando en ocasiones a cumplirse los requisitos necesarios para su diagnosis como epipedón mólico.

REFERENCIAS.

- ARRICIBITA VIDEGAIN, F.J. (1987): Tipología de suelos salinos de Navarra. Tesis Doctoral. Universidad de Navarra. Pamplona.
- BULLOCK, P. et al (1985): Handbook for soil thin section description. Pub Waine Research. F.A.O./UNESCO (1994): World Reference Base for Soil Resources. Roma.
- LISO PUENTE, M. y ASCASO LIRIA, A. (1969): Introducción al estudio de la evapotranspiración y clasificación climática de la Cuenca del Ebro. An. Aula Dei, 10: 1-507.
- MUNSELL soil color charts (1954): Munsell Color Co. Baltimore.
- PORTA CASANELLAS, J. (1986): Edafogénesis en suelos yesíferos en medio semiárido. Trabajo original de investigación. Lérida.
- STOOPS, G. et al (1981): Gypsum in arid soils. Morphology and genesis. Soil Sc. Division ACSAD: 175-185.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1972): Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. Washington.
- SOIL SURVEY STAFF (1990): Keys to Soil Taxonomy. Virginia.
- U.S.D.A. (1975): Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Survey Staff. Washington.