

TRANSLOCACIONES SOLIDAS EN SUELOS CON CARACTERISTICAS SODICAS EN MONEGROS - FLUMEN (HUESCA): PROCESOS E IMPLICACIONES PARA EL USO AGRICOLA

J. Porta y R. Rodríguez-Ochoa

*Departamento de Meteorología y Ciencia del Suelo.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Lleida.*

RESUMEN

En el presente trabajo se atiende al continuum de observación con enfoques macro, micro y submicroscópico, para estudiar los procesos formadores en suelos con características químicas sódicas. Se han identificado tres macromorfologías que se corresponden con grados de pedialidad marcadamente distintos y edaforrasgos texturales no equivalentes. Se puede afirmar que no todos estos suelos tienen las propiedades del horizonte argílico, ni cumplen las exigencias adicionales del endopedión nátrico.

Después de interpretar los procesos formadores que han actuado en cada caso, se propone la clasificación de Torriorthents xéricos y Xerofluents típicos para suelos sódicos que no cumplen las exigencias estrictas de nátrico y de Natrixeralfs típicos, para los que se ajustan a la definición establecida por S.S.S. (1990), que es la que tiene vigencia. Las características de los distintos suelos se relacionan con el uso agrícola y la respuesta de los cultivos.

Palabras clave: Horizonte nátrico. Micromorfología. Edaforrasgos texturales. Alcalinidad, Natrixeralf.

SUMMARY

SOLID TRANSLOCATIONS IN SOILS WITH SODIC CHARACTERISTICS IN MONEGROS - FLUMEN (HUESCA): PROCESSES AND LAND USE IMPLICATIONS

Soil forming processes in soils with sodic chemical characteristics are studied using the continuum of observations from landscape to microscopic and submicroscopic arrangements. Three macromorphologies have been identified corresponding to very different degrees of pedality and non equivalent textural pedofeatures. Some of the studied sodic soils have diagnostic characteristics of an argillic horizon and in addition the ones for natric horizon, but others do not fulfill these requirements.

After the acting soil forming processes have been interpreted (recognized) in each case, the sodic soils which do not fulfill the present definition of a natric horizon are classified in the study area as Typic Xerofluent and Xeric Torriorthent, sodic soils with a natric horizon in the current acceptation are Typic Natrixeralfs. The characteristics of the different soils are related with land use and crop behaviour.

Key words: Natric horizon. Micromorphology. Textural pedofeatures. Alkalinity. Natrixeralf.

INTRODUCCION

En estudios en campo, en suelos afectados por salinidad en el Valle del Ebro, se identifican con relativa frecuencia, revestimientos en horizontes que resultan tener elevados contenidos de sodio intercambiable ($ESP > 15\%$). En algunas ocasiones, horizontes con estas características se han considerado endopediones nátricos, sin tener en cuenta que este horizonte es una clase especial de horizonte argílico y que, además de las características de sodicidad, debe cumplir las del horizonte argílico.

La cartografía de suelos se basa, evidentemente, en una adecuada clasificación de los suelos. Dado que las propiedades directamente observables en campo pueden ser empleadas en cartografía mucho más rápidamente y de forma más económica (Den and Young, 1981), a veces se sobrevalora este nivel de información. Soil Taxonomy (SSS, 1975) ha seleccionado preferentemente este tipo de propiedades como base de diagnóstico, evitando la utilización de técnicas micromorfológicas, así como de otras técnicas onerosas o de uso poco generalizado, ya que su introducción podría restringir el empleo de dicho sistema de clasificación.

Los estudios de suelos afectados por sodicidad llevados a cabo en el Valle del Ebro se han basado en características macromorfológicas y químicas (INYPESA, 1974; Martínez-Beltrán, 1978; Alberto *et al.*, 1984;

Bech *et al.*, 1988), no siendo sino hasta los trabajos de Rodríguez-Ochoa *et al.* (1989) y Torrentó *et al.* (1991) en los que se aporta información micromorfológica. No obstante, en algunos casos se ha generalizado el concepto de horizonte nátrico (SSS, 1975, 90) y se han considerado como endopediones nátricos, aquellos que, si bien presentan $ESP > 15\%$, no cumplen los requerimientos del horizonte argílico, por falta de granoclasificación en los materiales translocados; ni los de horizonte nátrico, por un desarrollo insuficiente de estructura o de lenguas de un horizonte eluvial.

Por la relativamente importante extensión ocupada por suelos afectados por sodicidad en el Valle del Ebro (Herrero y Aragües, 1988), interesa revisar y profundizar esta cuestión con claras implicaciones para establecer estrategias de uso y manejo, basadas en cartografía edafológica.

El objetivo del presente trabajo consiste en llegar a una mejor comprensión de los procesos en suelos sódicos, representativos del Area regada de Flumen-Monegros. Discutir, en diferentes escalas, macro, micro y submicroscópicas, los procesos de translocación de materiales sólidos, cuyas implicaciones tecnológicas se reflejan en la colmatación de drenes enterrados (Herrero *et al.*, 1989), en el movimiento del agua y, en definitiva, en las posibilidades de uso y manejo.

MATERIAL Y METODOS

Los suelos aquí presentados se han seleccionado de un total de 80 pediones que se han estudiado en el Valle del Ebro, en el sistema de riegos de Flumen-Monegros (Huesca). El perfil FR-1 (Fraella), FR-2 y FR-3 se hallan en seco, mientras que el LZ-2 (Lalueza) y el CA-2 (Callén) son suelos de regadío. Fig. 1).

El clima de la zona ha sido caracterizado por Herrero *et al.* (1989) y por Rodríguez-Ochoa *et al.* (1989). Los parámetros medios anuales más significativos son precipitación de 489 mm, temperatura de 14,5 °C y una evapotranspiración muy superior a la precipitación, lo que conduce a un régimen de humedad no percolante y, si hay capa freática, a un régimen ascensional. La clasificación climática según Thornthwaite es DB'2 db'3. El régimen de humedad de los suelos (SSS, 1990) es transición del xérico al arídico. Aplicando el método Jarauta (1989) para estimar el régimen de humedad, resulta arídico en suelos con una capacidad de retención de agua disponible para las plantas (CRAD) inferior a 75 mm y xérico si se supera este valor. Por ello, dependiendo del valor de la CRAD, cabe la presencia de Aridisoles o de Alfisoles, ambos con horizonte nátrico. De acuerdo con ello, los suelos estudiados con perfil A Bw C y A

Btnak C presentan régimen xérico.

La descripción de suelos se ha realizado siguiendo las normas SI-NEDARES (C.B.D.S.A., 1983). La conductividad hidráulica se mide según el método Porchet y la velocidad de infiltración según el método del doble anillo. Como técnicas analíticas se utilizan los Métodos Oficiales de Análisis MAPA, (1986) y Porta *et al.* (1986). La arcilla naturalmente dispersa se determina sin destruir la m.o. ni adición de dispersante y siguiendo metodología clásica. Se han estudiado los cationes cambiables, en función de los extraíbles en acetato sódico y acetato amónico, y de los solubles, según Bower *et al.* (1952). Para el estudio de la estabilidad estructural se ha empleado la metodología propuesta por Emerson (1967) y Loveday (1974). La difracción de rayos X y la espectroscopía infrarroja para determinar la mineralogía de arcillas se ha realizado en la U.E.I. de Mineralogía y Geoquímica (CSIC, Madrid). Las láminas delgadas se han fabricado según la técnica Guilloré (1985) y su descripción de acuerdo con Bullock *et al.* (1985). Los estudios de microscopía electrónica de barrido y EDAX se han realizado en el Servicio de Microscopía de la UPC.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los suelos estudiados están asociados a posiciones geomorfológicas de vertiente en glacis y vertientes rectilíneas, con pendientes generales inferiores al 5% así como a fondos

de barrancos tributarios del río Flumen y a pequeñas depresiones. Los materiales originarios son holocenos, de tipo detrítico fino, ricos en limo y en carbonatos. Por la

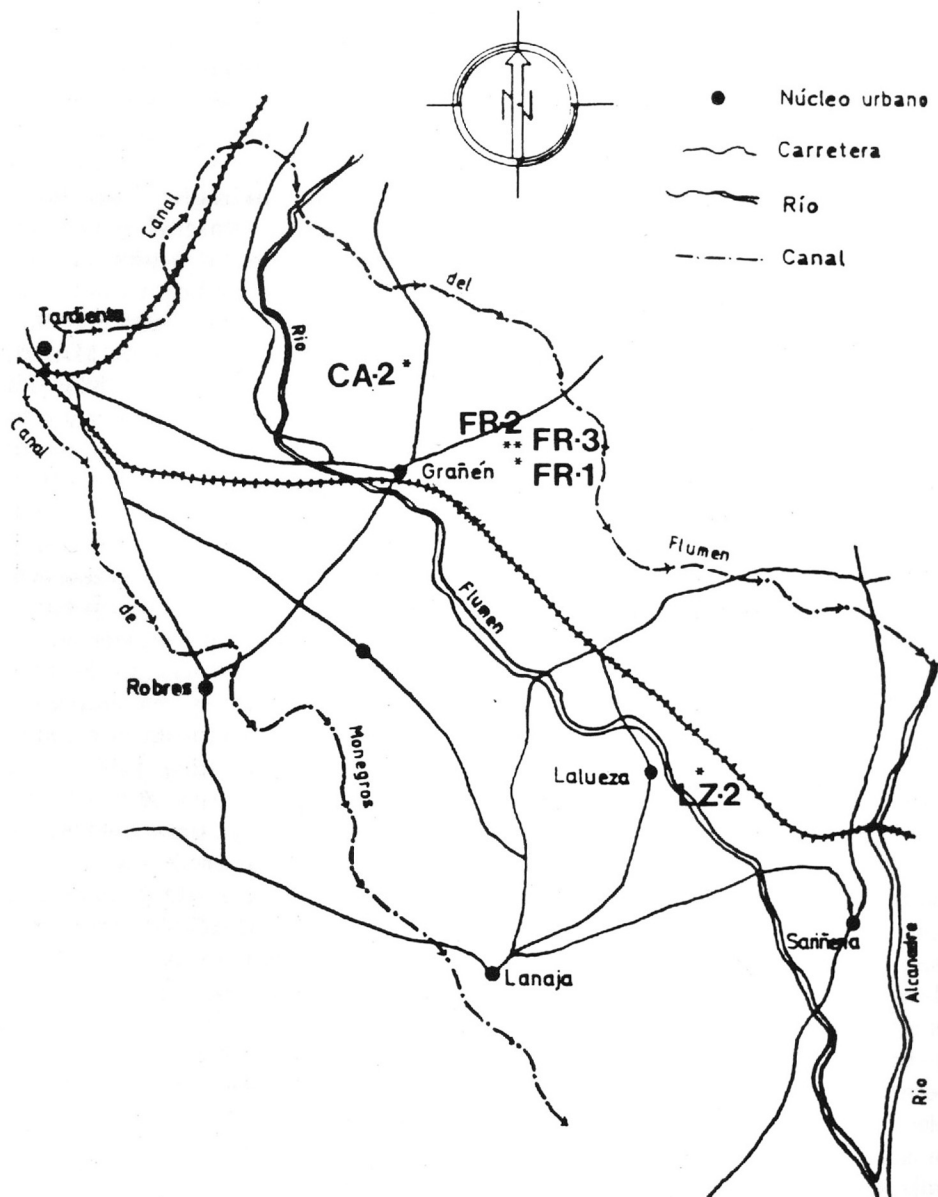


FIG. 1.—Localización de la zona estudiada.

aridez del clima, siguen teniendo una fuerte influencia sobre las propiedades y comportamiento de los suelos.

Se han identificado y estudiado suelos (Tablas 1 y 2) con tres macro-morfologías claramente diferentes. Por un lado, suelos con material fina-

TABLA 1

Características de los materiales sódicos en posición subsuperficial en el suelo.

Pediones tipo	Macromorfológicas	Micromorfológicas
	<i>Suelos con materiales finamente laminados</i>	
FR - 1	Color matriz: 10 YR 7/4 Estructura laminar fina. Revestimientos frecuentes en túbulos verticales, grietas y huecos. Color 7.5 YR 5/7	Microestructura apedral. Laminado, compuesto por láminas alternantes de textura limosa y arcillosa. Con granoclasificación. Porosidad 5-10%. Edaforrasgos texturales de relleno complejos, revestimientos e intercalaciones, de limosos a arcilla impura. Suponen de 1-5%. Existen edaforrasgos de fábrica en canales y cámaras de relleno.
<i>Suelos con estructura y revestimientos texturales heterogéneos</i>		
LZ - 2 CA - 2	Color matriz: 2.5 Y 6/3 Estructura primaria en bloques subangulares, a veces prismática, de moderada a débil, gruesa. Estructura secundaria fuerte, en bloques subangulares medios. Revestimientos frecuentes en caras de agregados, en poros y en canales. Manchas frecuentes $\phi < 1$ mm.	Microestructura prismática, moderada. Subestructura en bloques. Porosidad 10-20%. Edaforrasgos texturales: revestimientos e hiporrevestimientos e intercalaciones limo-arcillosas, no birrefringentes (1-5%) (prismática) o birrefringentes (bloques subangulares).
<i>Suelos con estructura y revestimientos: endopedión nátrico</i>		
FR - 2 FR - 3	Color matriz: 7.5 YR 5/6 Estructura prismática, fuerte, gruesa. Estructura secundaria prismática fina. Subestructura en bloques. Revestimientos frecuentes en caras de agregados, poros y canales. Color: 7.5 YR 5/5 Nódulos de carbonatos friables de 5-15 mm. Pisolitos escasos $\phi < 1$ mm	Microestructura prismática, fuerte. Subestructura en bloques. Porosidad 15 a 25%. Edaforrasgos texturales: revestimientos de arcilla impura, con birrefringencia de moderada a fuerte Suponen de un 3 a 5%. Intercalaciones de arcilla impura 1%. Nódulos de calcita: 5%. Nódulos de hierro, manganeso y titanio (SEM - EDAX): < 1%.

TABLA 2

Principales características analíticas de los materiales sódicos en posición subsuperficial en el suelo: Se observa una gran semejanza en lo que a características químicas se refiere. (Intervalo de variación para los 80 perfiles analizados).

Perfiles tipo	Horizontes genéticos	ESP*	SAR	Conductividad hidráulica media hasta 100 cm 10^{-5} ms^{-1}	Velocidad infiltración m día^{-1} superficie suelo	Sistema agrícola
FR - 1	C	20.3-54.2	16.1-48.3	0.69- 8.10	1.20	Secano
FR - 2	Bt, na	15.3-89.0	10.5-97.7	9.25-16.20		Secano
FR - 3	Bt, na	56.8-81.4	10.8-28.0	11.57-17.36	1.44	Secano
LZ - 2	Bw	56.8-81.4	10.8-28.0	3.47	0.35	Riego
CA - 2	Bw	28.7-49.3	33.4-45.5	5.78-13.88	0.65	Riego
$\text{CE}_e \text{ S m}^{-1} \text{ a } 25^\circ\text{C}$		pH pasta	% arcilla naturalmente dispersa			Clase textural USDA
			Materiales laminados			
0.135 - 0.476		8.9-10.0	56.8-87.3			FaL-aL
			Endopedión nátrico			
0.155 - 0.960		8.4-10.3	43.4-74.9			FL-FaL
0.230 - 0.389		9.0-10.1				Fa-FaAr
			Materiales sódicos con revestimientos heterogéneos			
0.230 - 0.389		9.0-10.1	—			Fa-FaAr
0.615 - 0.903		9.1-10.1	17.5-48.5			FaL-aL

* Calculado según Bower *et al.* (1952).

mente laminado, con alternancia de capas milimétricas limosas y arcillosas (hojaldre); suelos con estructura edáfica y revestimientos texturales; y suelos con estructura en primas o a veces columnas y revestimientos texturales (endopedión nátrico, S.S.S., 1975, 90).

Suelos con material finamente laminado

Se han identificado suelos poco evolucionados, con perfil AC, en algunos casos A2C. En aquellas posiciones en que no han sido modificados por la transformación en regadío con nivelación, presentan un epipedión ochrico, de textura gruesa, rico en materia orgánica (2-3%), bien estructurado, sin salinidad ni sodicidad y con velocidad de infiltración alta y buena permeabilidad.

El horizonte C, o el 2C, presenta estructura laminar, que se describe en campo como fina a muy fina, y textura franco-limosa. El análisis granulométrico clásico enmascararía las diferencias texturales entre láminas, que sólo han podido ser puestas en claro gracias a los estudios micromorfológicos (Fig. 2). Herrero *et al.* (1989) denominan "hojaldre", por su morfología, a este material finamente laminado.

La presencia de materiales laminados parece ser bastante frecuente en suelos afectados por salinidad en el Valle del Ebro, habiendo sido descrita en múltiples emplazamientos, así en Bárdenas por Martínez-Beltrán (1978), en Flumen-Monegros (Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1989) y en los regadíos del Cinca en las proximidades de Ilche (Porta, 1990). Se trata de materiales que, en condiciones de secano, presentan contenidos

salinos bajos, y elevado nivel de sodio intercambiable (ESP > 15%) y pH fuertemente alcalinos (> 9.5). A estas características químicas desfavorables se unen su estructura laminar, que impide en gran manera el movimiento vertical del agua, frenando las posibilidades de hacer llegar cualquier enmienda química a cierta profundidad. La porosidad identificada es de tipo cavitario no comunicante. Todo ello hace muy dificultoso el avance de las raíces, por lo que su mejora biológica también es muy lenta. Resulta frecuente identificar revestimientos en túbulos, grietas cerradas y poros, que se interpretan como heredados, al estar ya presentes en hojaldres no edafizados.

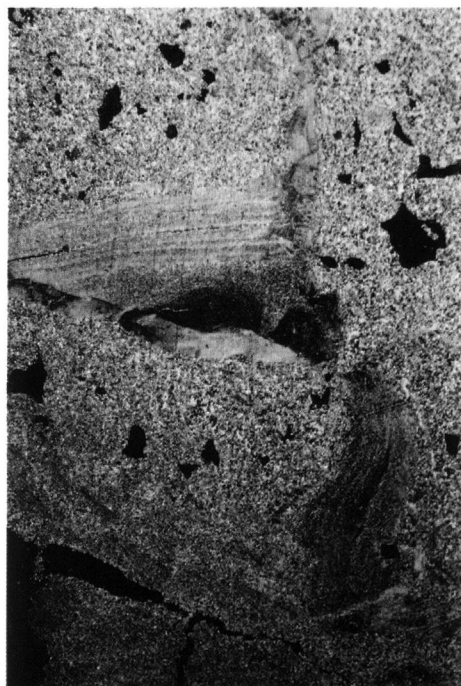


FIG. 2.—Edaforrasgo textural relleno, heredado en horizonte C de material laminado, de un Torriorthent xérico, XPL.

Al ser transformados en regadío y nivelados, en muchos casos el material laminado ha sido puesto en superficie, perdiéndose el epipedión que era favorable para una vegetación cuyo desarrollo radicular sólo era posible en esta parte del suelo.

Esto explica que muchos de estos suelos, una vez puestos en regadío hayan sido abandonados por los agricultores. Al labrar los materiales laminados se desorganiza su estructura sedimentaria originaria, si bien en lámina delgada son identificables fragmentos de paquetes laminados desorganizados, en una matriz predominantemente limosa. Se pueden identificar revestimientos que deben interpretarse como heredados del material originario.

Los horizontes subsuperficiales con estas características deben interpretarse como un material sódico, no como un endopedión nátrico, incluso si el laboreo ha desorganizado la disposición laminar inicial. Por ello, deben clasificarse como Torriorthents xéricos fase sódica.

El proceso de formación de un material semejante al hojaldre ha podido ser directamente observado en campo; está relacionado con los procesos de erosión, transporte y sedimentación diferencial de la fracción limo y arcilla sódica. El agua de escorrentía superficial, cuando llega a las partes basales de las laderas, depresiones y fondos, transportando una carga sólida constituida por limo y arcilla, pierde velocidad y da lugar al depósito de estos materiales. El primero en sedimentar será el limo, la arcilla lo hace de una forma claramente fraccionada respecto al limo, no sólo por su menor tamaño, sino por hallarse dis-

persa al tratarse de arcilla sódica. Al depositarse la arcilla en medio acuoso da lugar a depósitos con fábrica interna con laminación y frecuentes revestimientos e intercalaciones birrefringentes en huecos y poros. La repetición del proceso hace crecer la capa de sedimento, que va adquiriendo la estructura finamente laminada y presenta abundantes huecos de tipo cavitario y vesicular, que es la observada en los materiales originarios de los suelos. A lo largo del holoceno el proceso puede haber tenido lugar a escala regional.

Suelos con estructura y revestimientos texturales

Se han identificado suelos de regadío cuyos horizontes superficiales presentan estructura edáfica, así como revestimientos observables en campo, y cuyos ESP resultan superiores al 15%.

La estructura del endopedión puede ser prismática moderada, con una estructura secundaria en bloques subangulares (LZ-2). En otros casos la estructura primaria es en bloques subangulares (CA-2), si bien no se ha llegado a desarrollar un horizonte eluvial, ni por ello hay ningún tipo de lenguas, se trata de un Bw de características sódicas.

En el horizonte Bw se han identificado fragmentos de paquetes de material finamente laminado, que se interpretan como resultado de la edafización del material tipo hojaldre que constituye el horizonte C.

Los estudios micromorfológicos han puesto de manifiesto (LZ-2) que los revestimientos corresponden a edaforragos texturales sin suficiente clasificación textural ni birrefringen-

cia (Fig. 3). Se trata del resultado de translocaciones heterogéneas, mezcla de arcilla y limo del tipo de las descritas por (Fedoroff y Courty, 1987) en suelos de regiones áridas y semiáridas. La entrada de agua en el suelo a través de las grietas que presentan estos suelos después de una estación seca, así como por caras de agregados y otros sistemas de huecos, puede arrastrar materiales ricos en arcilla y limo que se depositarán con escasa granoclasificación en horizontes subsuperficiales (Fig. 3). Con la definición actual de horizonte nátrico (S.S.S., 1990), estos horizontes no pueden considerarse que lo sean, ya que sólo cumplen la exigencia de tener un SAR superior a 13 ($ESP > 15\%$), pero no las características macro o micromorfológicas. Se trata de un endopedión con carácter sódico, de un Bw de un suelo de fase sódica, pero no de un suelo con un horizonte nátrico. Por ello, deberían clasificarse como Xerofluvents típicos fase sódica según S.S.S. (1990).

Esta dificultad a la hora de clasificar suelos con un horizonte con

estructura en bloques y características sódicas se presenta no sólo en el Valle del Ebro, si no también en otros lugares, como por ejemplo, en la llanura Indo-gálgica (Murthy *et al.*, 1981) con suelos de la serie Zarifa Viran, que estos autores optan por clasificar como Typic Natrustalf.

Suelos con estructura y revestimientos: endopedión nátrico

Se han identificado suelos sódicos de génesis más compleja, como se desprende ya de su macromorfología (Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1989). El epipedión es óchrico y sus características son semejantes a las de los restantes suelos. En condiciones de secano se conserva el horizonte originario, de textura franco-arenosa con un espesor que va de 2 a 25 cm.

Su endopedión presenta estructura prismática (ocasionalmente columnar), y revestimientos asociados a poros, canales de raíces y a caras de agregados.

Como caracteres complementarios puede destacarse la presencia de

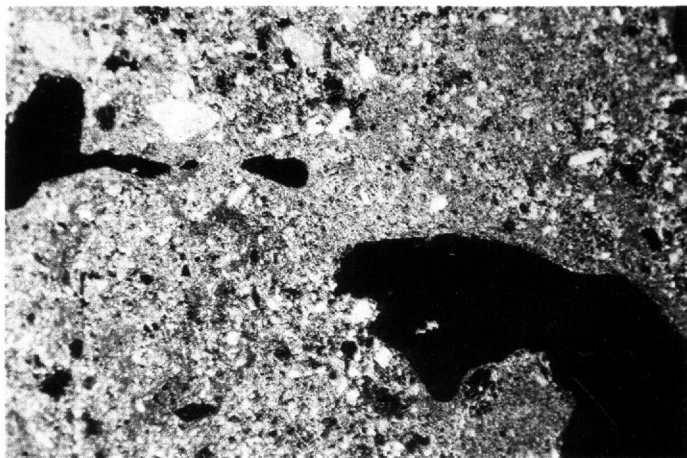


FIG. 3.—*Edaforrasgo textural, revestimientos heterogéneo en horizonte Bw sódico. Xerofluven típico. XPL.*

nódulos friables de carbonato cálcico de 5 a 15 mm visibles en campo, y de pisolitos ferro-mangánicos de hasta 1 mm de diámetro, visibles en lámina delgada. La estructura del horizonte B pasa de una forma gradual a laminar de tipo hojaldre, que es la que caracteriza al horizonte C.

En secano presentan un epipedión que no contiene sales solubles ($CEs < 0.2 \text{ S m}^{-1}$ a 25°C) ni es sódico ($ESP < 2\%$), ni alcalino ($pH < 8.7$).

El endopedión y el horizonte C presentan una fuerte alcalinidad (pH de hasta 10 y ESP muy superior a 15%) (Tabla 2).

El estudio de la génesis de estos suelos debe abordar el origen de los materiales arenosos que constituyen el epipedión, la naturaleza de los revestimientos en el endopedión y la presencia de materiales finamente laminados en la base del perfil.

El estudio morfoscópico de los granos de arena al MEB (Fig. 4) permite destacar la procedencia eólica de estas arenas, al no ser redondeadas ni su superficie mate y despulida,

ni presentar estrías. Se trata de granos de cuarzo, de forma subangular, con superficies lisas y pulidas, con zonas escalonadas angulosas y otras con fracturas concoides retocadas. Estos rasgos denotan el origen sedimentario en medio acuoso (Cailleux *et al.*, 1968, Krinsley y Margolis, 1969). Descartada la intervención eólica en la formación de los epipediones, resulta de interés proponer una explicación para el carácter franco-arenoso.

Puede tratarse de un enriquecimiento relativo en arena por procesos de empobrecimiento lateral en posiciones de pendiente, que favorezcan la pérdida de materiales finos (Servat, 1966), o bien por procesos de eluviación, o de un enriquecimiento absoluto por aporte de un material más arenoso sobre el más arcilloso preexistente, en este caso se trataría de una discontinuidad litológica o de un depósito que enterraría un suelo preexistente.

Estos suelos presentan un endopedión iluvial, con estructura prismática y revestimientos texturales, de matices más rojos que 10 YR,

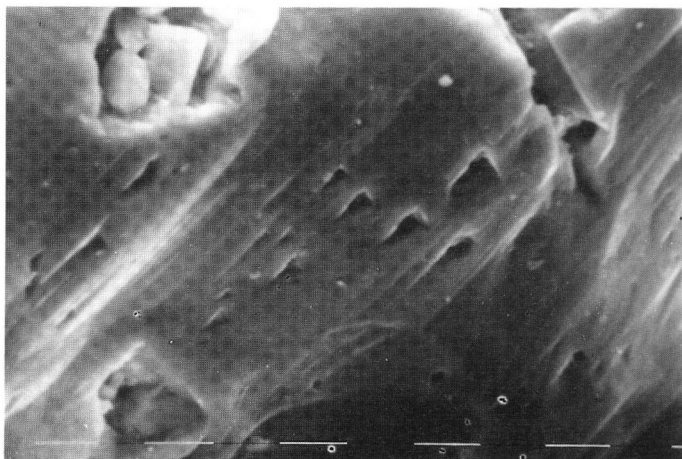


FIG. 4.—*Textura superficial de grano de cuarzo de un epipedión ochrico de un Natrixeralf típico en secano.*

que se corresponden a edaforrasgos texturales birrefringentes de arcilla impura (Fig. 5). Se trata de un endopediación con un ESP > 15%, por lo que se considera un horizonte B_{tna}, un nátrico en sentido estricto (S.S.S., 1990). Por ello, deben clasificarse como *Natrixeralfs* típicos según S.S.S. (1990).

En el endopediación se han identificado fragmentos de paquetes de material finamente laminado, que es el que forma el horizonte C. Por ello, resulta posible interpretar que el material finamente laminado ha servido de material originario de los horizontes suprayacentes.

Sin excluir la posible funcionalidad de otros procesos, la hipótesis de la iluviación se ve reforzada al estudiar con el MEB los granos de arena del epipediación. Estos presentan depósitos globulosos irregulares de sílice (Fig. 4), lo que traduce unas condiciones de alcalinidad, exigidas para posibilitar la movilidad de la sílice. Este ambiente debió de existir en el epipediación en el momento en que los procesos de eluviación-iluviación de arcillas sódicas tuvieron lugar. La presencia de casquetes e intercalaciones limosas en los epipedones refuerzan la hipótesis de translocaciones verticales de materiales a partir del epipediación, junto con la existencia de arcilla iluviada en más de un 3%, así como de revestimientos e intercalaciones texturales de limo y arcilla mezcladas, sin birrefringencia, en los horizontes inferiores, puesta de manifiesto por micromorfología (Tabla 1 y Fig. 3). El conjunto de los rasgos micromorfológicos están de acuerdo, salvo algunas particularidades, con los poco numerosos estudios micromorfológi-

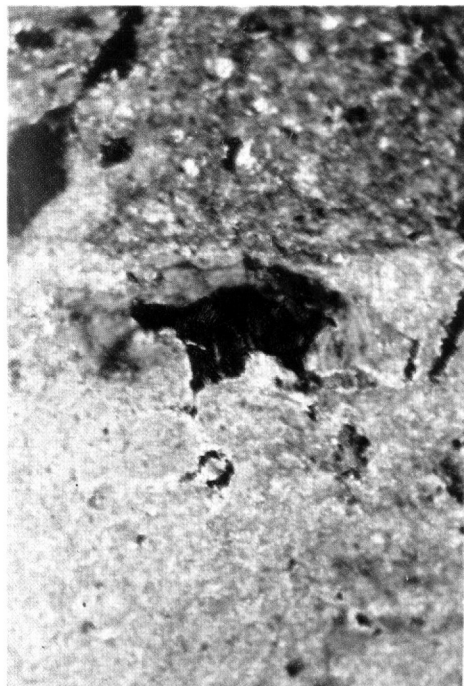


FIG. 5.—*Edaforrasgos* textural, revestimiento arcilloso, en endopediación nátrico, de un *Natrixeralf* típico, XPL.

cos publicados sobre el endopediación nátrico, Yarilova (1964), Yarilova *et al.* (1968); Seghal y Stoops (1978); Kooistra (1982); Walter (1985) y Fedoroff *et al.* (1987).

Por otro lado, la intensa actividad de la fauna mantiene un cierto proceso de mezcla entre epipediación y la zona superior del endopediación, en la actualidad.

Estudio comparado

Las distintas morfologías son diferenciables integrando información procedente de un continuum de observación, que empieza con el estudio del modelo de distribución de suelos en el paisaje, la observación de los pedones con identificación en sus horizontes de macroestructura y re-

vestimientos, continua con la descripción micromorfológica de microestructuras y edaforrasgos texturales y acaba con la observación de los materiales con el MEB.

Se puede establecer una gradación de morfologías tomando el material finamente laminado (hojaldre) como punto de partida. A medida que aumenta el grado de pedialidad, se pasa a suelos A C (hojaldre), A Bw C (hojaldre) y A Btnak C (hojaldre).

El proceso lleva asociada la translocación de sólidos, que ha dado lugar a edaforrasgos texturales sin granoclasificación en los Bw, y con granoclasificación avanzada y marcada birrefringencia en los Btna.

La desorganización de la laminación del hojaldre por bioturbación debida a fauna o acción antrópica puede dificultar las interpretaciones sobre la significación de los revestimientos que se observen.

Los suelos con edaforrasgos texturales, identificados en horizontes sin estructura edáfica, principalmente con laminación muy fina (hojaldre) heredada de las características del material originario, pueden cumplir los requerimientos analíticos para nátrico, sin embargo, los revestimientos que pueden presentar constituyen el resultado de un proceso ligado a formación del "hojaldre" y no al del suelo. Estos suelos, de características y comportamiento muy desfavorable para los cultivos, no presentan, por consiguiente, horizonte nátrico.

Los suelos con edaforrasgos texturales y birrefringencia en horizontes subsuperficiales con estructura en bloques obligan a una redefinición del endopedión nátrico.

En relación con el uso agrícola de

estos suelos cabe destacar como rasgo común la elevada alcalinidad de los horizontes subsuperficiales. Como elementos diferenciales se hallan la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica y la facilidad para el enraizamiento (Tabla 2).

La velocidad de infiltración refleja diferencias importantes. En seco los suelos con materiales laminados tienen un epipedión arenoso, por lo que su velocidad de infiltración resulta alta ($1.20-1.44 \text{ m día}^{-1}$), mientras que al dejar en superficie materiales laminados o endopediones nátricos la velocidad de infiltración pasa a ser insuficiente ($< 0.60 \text{ m día}^{-1}$), por lo que se puede afirmar que en muchos casos la nivelación provocó efectos no deseables.

La conductividad hidráulica hasta 100 cm es de insuficiente a poco permeable en los suelos con material laminado, lo que puede explicarse por la disposición horizontal del material y debido a la porosidad no comunicante que presenta. Los Xerofluvent típicos fase sódica y los Natrixeralfs típicos presentan conductividades hidráulicas de poco a moderadamente permeables, debido a la existencia de porosidad intra e interagregados, favorecida por la existencia de perfodos secos a lo largo del año.

Las densidades aparentes en los horizontes Bw y Btnak son altas, de $1600 \text{ a } 1700 \text{ kg m}^{-3}$, ello traduce una elevada compacidad. Las raíces no penetran en los materiales laminares de los horizontes C, penetran entre agregados en los Bw y su espacio se ve más restringido en los Btnak, al ser de mayor tamaño los prismas. Las raíces tapizan las caras de los

prismas y presentan a veces deformaciones por aplastamiento.

El comportamiento del sistema radicular resulta, pues, diferente en cada una de estas tres unidades de suelos debido a sus características

físicas, desarrollo radicular impedido en los materiales laminados, moderado en los suelos con endopediación nátrico y más favorable en los suelos con horizonte Bw.

CONCLUSIONES

Se proponen tres mecanismos para explicar los procesos que dan lugar a macromorfologías con revestimientos texturales asociables, en principio, a translocaciones sólidas en ambiente alcalino ($ESP > 15\%$ y pH 9-10) en medios áridos y semiáridos, en los que en la cuenca existan centros de redistribución de salinidad constituidos por calcilitas ricas en limo y arcilla.

Únicamente la conjunción de un continuo de observaciones campo-análisis-micromorfología puede permitir evitar errores de interpretación, que tendrán importancia en el manejo y clasificación de estos suelos y que adquieren importancia por la superficie que ocupan.

El origen del hojaldre como material originario de los suelos parece aclarado, por aplicación del principio del actualismo.

El distinto comportamiento de los suelos sódicos de la zona estudiada, la distinta respuesta de los cultivos y de las estrategias de uso (Herrero *et al.* (1986), Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1989) pueden ser mejor interpretados en base a la información que se aporta. La porosidad conectada es prácticamente nula en los materiales laminados (hojaldre), sin embargo, es significativa en los

endopediones nátricos, tanto inter como intraestructural. Los materiales sódicos con revestimientos heterogéneos presentan estructura edáfica ligada principalmente a la actividad de fauna, lo que les confiere porosidad conectada, cuya proporción va ligada principalmente a la intensidad de la bioturbación. La estructura es esencialmente en bloques subangulares en estos horizontes Bw.

Para una adecuada transferencia de tecnología se requiere que el distinto comportamiento de estos suelos quede reflejado en su denominación, de forma que al cartografiarlos se establezcan unidades distintas para cada caso.

Los suelos estudiados que presentan materiales laminados deben considerarse Torriorthents xéricos; aquellos que presentan materiales con revestimientos heterogéneos, Xerofluvents típicos y, si se ha desarrollado un endopediación nátrico y tienen régimen xérico, se trata de Natrixeralfs típicos. La definición actual del endopediación nátrico deberá ser revisada para una aplicación más extensiva, en el sentido de incluir endopediones con estructura en bloques, con edaforragos texturales birrefringentes, cumpliendo además las exigencias químicas actuales.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTO, F., GUTIERREZ-ELORZA, M., IBAÑEZ, M. J., MACHIN, J., PEÑA, J. L., POLOVI, A., y RODRIGUEZ, J., 1984. El cuaternario de la Depresión del Ebro en Aragón. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes. Univ. Zaragoza.
- BECH, J., GARRIDO, J. y TORRENTO, J. R., 1988. Natrixeralf en el Baix Segre (Lleida). An. Edafol. Agrobiol., 47: 623-644.
- BOWER, C. A., REITEMEIR, R. and FIREMAN, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Sci., 73: 251-261.
- BULLOCK, P., 1985. Handbook for the description of thin sections of soils. Waive Res. Publ.
- CAILLEUX, A. and SCHNEIDER, H. E., 1968. L'usage des sables vu au microscope électronique á balayage. Sci. Prog., 3395: 92-94.
- CBDSA, 1983. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo SINEDARES. M.A.P.A., Madrid.
- DENT, D. and YOUNG, A., 1981. Soil Survey and Land Evaluation. George Allen and Unwin. London.
- EMERSON, W. W., 1967. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. Austr. J. Soil Res., 5: 47-57.
- FEDOROFF, N. and COURTY, M. A., 1987. Morphology and distribution of textural features in arid and semiarid regions. Soil Micromorphology. AFES. Plaisir: 213-229.
- GUILLORE, O., 1985. Fabrication mécanique et en série de lames minces. INA Paris-Grignon.
- HERRERO, J., RODRIGUEZ-OCHOA, R. y PORTA, J., 1989. Colmatación de drenes en suelos afectados por salinidad. Inst. Fernando el Católico. Zaragoza.
- HERRERO, J. y ARAGÜES, R., 1988. Suelos afectados por salinidad. Surcos de Aragón, núm. 3.
- INYPISA, 1975. Estudio de los suelos de la 1ª y 2ª parte de la zona regable de Flumen (Huesca). IRYDA. Madrid.
- JARAUTA, E., 1989. Modelos matemáticos de régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación de la humedad de los suelos del área meridional de Lleida. Tesis Doc. ETSII Barcelona.
- KOOISTRA, M., 1982. Micromorphological analysis and characterization of 70 Benchmark soils of India. A basic reference. Set Netherl. Soil Survey. Inst. Wageningen.
- KRINSLEY, A. and MARGOLIS, J., 1969. A study of quartz sand grain surface textures with the SEM. Trans. N. Y. Acad. Sci., ser. 2, 31: 457-477.
- LOVEDAY, J., 1974. Methods for analysis of irrigated soils. C. A. B., Clayton.
- M. A. P. A., 1986. Métodos oficiales de análisis de suelos. Tomo 3. S. G. T. - M. A. P. A., Madrid.
- MARTINEZ BELTRAN, J., 1978. Drainage and reclamation of salt affected soils in the Bardenas area (Spain). ILRI. Wageningen.
- PORTA, J., LOPEZ-ACEVEDO, M. y RODRIGUEZ-OCHOA, R., 1986. Técnicas y experimentos en edafología. COIAC. Barcelona.
- PORTA, J., HERRERO, J. y LATORRE, S., 1986. Evaluación de suelos para riego: Criterios y problemática en los regadíos de Huesca. J. Herrero (Ed.): "Salinidad en los suelos: Aspectos de su incidencia en los regadíos de Huesca". DGA. Zaragoza.

- RODRIGUEZ-OCHOA, R., HERRERO, J. y PORTA, J., 1989. Suelos de regadío con drenaje enterrado del área de Flumen-Monegros (Huesca). XVI Reunión SECS. SECS-DMCS. Lleida.
- SEGHAL, J. and STOOPS, G., 1976. Comparative morphological and micromorphological studies on the salt-affected and associated cultivated soils of the Alluvial Plains of NW India. In. Indian Soc. Soil Sci., 24: 439-442.
- SERVAT, E., 1966. Sur quelques problemes de cartographie pédologique en region méditerranéenne. Com. Conf. Suelos Mediterráneos. Madrid: 407-411.
- S. S. S., 1975. Soil Taxonomy System. Agric. Handbook 436. Washington.
- S. S. S., 1990. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Tech. Monogr. 19, Virginia.
- TORRENTO, R. y SOLE, A., 1991. Natrixeralfs del Bajo Segrià (Lérida). XVIII Reunión Nacional de Suelos. Tenerife.
- WALTER, Chr., 1985. Characterization de sols à horizon natrique du Nord-ouest de l'Espagne. DEA. Paris-Grignon.
- YARILOVA, E., 1964. Comparative micromorphological characteristics of some solonchic soils of the steppe and semi-desert zones. In Jongerius, J. (Ed.): "Soil Micromorphology". Elsevier Publ.: 313-324.
- YARILOVA, E. and ANDRONIKOV, V., 1968. Micromorphological diagnostic of solonchic soils in the southern chernozem subzone. 9th Int. Cong. Soil Sci., 4: 467-480. Adelaide.

Recibido de la Comisión: 21-5-91.

Aceptado para publicación: 29-11-91.