

LOS SUELOS DE LOS BORREGUILES DE SIERRA NEVADA (GRANADA)

R. DELGADO CALVO-FLORES (*), E. BARAHONA (**), F. HUERTAS (**)
y J. LINARES (**)

RESUMEN

En este trabajo se realiza una recopilación de los datos existentes sobre los suelos de los borreguiles de Sierra Nevada (Granada) y el estudio exhaustivo de un perfil de este tipo muestreado cerca de la antigua Laguna de las Yeguas (cuenca del río Dilar).

Los borreguiles o prados húmedos, se sitúan en áreas de abundancia de agua (lagunas, arroyos, fuentes, etc...), presentando como rasgo característico una vegetación densa y siempre verde, de tipo hidrófilo. Su frecuencia en las zonas altas de Sierra Nevada se debe a la impermeabilidad de las rocas metamórficas micáceas, al régimen climático y a la presencia de rasgos topográficos adecuados.

El suelo estudiado es un Aquent, y en base a los datos morfológicos y analíticos del mismo han podido ser establecidos los siguientes controles genético: 1.—La circulación activa del agua genera ciclos de erosión-deposición-edafización, originando en los suelos secuencias de horizontes enterrados. 2.—La gran densidad de vegetación condiciona en el suelo cantidades importantes de materia orgánica. 3.—En algunos horizontes existen rasgos hidromórficos por el empapamiento casi continuo; y 4.—El fuerte lavado a que están sometidos los suelos es la causa de una gran acidez (los pHs son menores de 4,5).

A nivel de Sierra Nevada, y de acuerdo con todos los datos recogidos, no se puede establecer un esquema completo y definitivo de la edafología de este tipo de áreas. A pesar de ello las tipologías de los suelos en la clasificación de Kubiena (28) son de Anmoor y Turbera, que en este caso podrían equivaler, aproximadamente, a un Aquent y un Histosol de la «Soil Taxonomy» (42).

(*) Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.

(**) Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C.), Granada.

SUMMARY

In this a summary is made of the available data regarding the soils of the topographic forms called «borreguiles» in Sierra Nevada (Granada). Also a profile of such soils, sampled near to the, now disappeared, «Laguna de las Yeguas» is studied in detail.

The «borreguiles» are wet meadows formed on poorly drained sites near lagoons, streams and water sources. They have, as a characteristic feature, an evergreen, dense vegetation cover of hidrophistic type. They are relatively common in Sierra Nevada, wherever coincide a lack of permeability of a micaceous metamorphic country rock, an humid climate and a low topographic position.

The profile studied was classed as an Aquent. In accordance with the morphological and analytical properties the following genetic controls were established: 1.—The changing pattern of surface waters give rise to alternate cycles of erosion-deposition-soil formation, which results in sequences of buried soil horizons. 2.—The high density of the vegetation cover determines the accumulation of important quantities of organic matter. 3.—Due to nearly permanent saturation with water, some horizons show distinct hidromorphic features. 4.—Intensive leaching of the soil horizons results in a high soil acidity (pH values lower than 4,5).

From the mentioned data a definitive scheme of the pedogenesis of such areas could not be established for Sierra Nevada. Nevertheless, according to Kubienas System. These soils should be classified as Anmoor or Peat soils, classes that would be broadly equivalent to Aquents and Histosols of the U.S. «Soil Taxonomy».

1. INTRODUCCION

En primer lugar, y en orden a centrar el tema, hay que decir que el presente estudio tiene como objetivo reunir y completar los datos existentes sobre los suelos de los prados húmedos o borreguiles de Sierra Nevada, a partir de una revisión bibliográfica del tema y la investigación de un perfil muestreado en la cuenca del río Dilar. Estos suelos tienen un gran interés de tipo práctico, al soportar

En las áreas altas de Sierra Nevada es relativamente frecuente encontrar zonas caracterizadas por una vegetación espesa y siempre verde, la cual se desarrolla por la abundancia de agua. Estas praderas o prados húmedos se como consecuencia del aspecto aborregado que presenta la superficie.

Debido a su relación con la presencia de agua, se localizan casi exclusivamente en las áreas altas del macizo, ya que las litologías presentes, esencialmente rocas micáceas metamórficas (26), son impermeables y condicionan un manto freático superficial que con facilidad corta a la topografía. Asimismo son más frecuentes por encima de los 2.500 metros de cota, como consecuencia de la mayor abundancia de agua (más precipitaciones, y menos evapotranspiración al ser la vegetación escasa) y la presencia de rasgos topográficos (zonas allanadas, cubetas, etc.) que permiten la acumulación de las aguas de escorrentía (15).

La vegetación de las praderas húmedas es hidrófila, y cambia fundamentalmente con el grado y tipo de humectación (1, 31, 34 y 35). De acuerdo con ello, Prieto (34 y 35) clasifica los borreguiles por un criterio fitosociológico-geográfico en los siguientes grupos: a) Borreguiles de bordes de arroyos. Como flora típica se pueden citar los musgos del género *Bryum* y la *Saxifraga stellaris*. b) Borreguiles encharcados o turberas. En ellos el encharcamiento es casi permanente y el agua carece de agitación. Las especies más características son los carex; así mismo aparecen *Sphagnum*, verónicas, etc...) Borreguiles húmedos. Pueden presentar encharcamientos temporales, aunque se caracterizan por una humedad constante. La gran masa de los mismos son de *Nardus stricta* (Cervuno) y también aparecen gencianas, *Festuca violácea*, etc., y d) Borreguiles secos. Estas formaciones pueden sufrir ya períodos de sequedad. Se componen también de cervunos, aunque ya aparecen otras plantas más xerófitas, *Festuca ovina*, *Phleum pratense* etc.

No es difícil que en un mismo borreguil aparezcan los cuatro tipos citados, ya que la existencia de lagunas con los bordes paulatinamente más secos, y alimentadas por arroyos, es una situación común.

Los suelos desarrollados sobre los borreguiles han recibido poca atención por parte de los edafólogos, quizás debido a la menor extensión que ocupan. La primera cita bibliográfica que hemos podido constatar se encuentra en la clasificación de Kubiena (28), al referir que formas semejantes al Anmoor de tundra pueden encontrarse en las regiones pantanosas del piso alpino de Sierra Nevada. Raya (36) estudia un suelo anmooriforme, a 2.250 metros de altitud, al lado de un arroyo cercano a la Fuente Fría de los Peñones de San Francisco. Alías y Pérez Pujalte (2),

en la ladera Sur del Mulhacén, investigan sobre un Pseudogley-Stagnogley, a 1.900 metros de cota, y un Anmoor de pendiente, a 2.060 metros; ambos estaban localizados en praderas con drenaje impedido. Prieto (34) establece una secuencia altitudinal de suelos ammooriformes en la cuenca del río Monachil; en las zonas de las cumbres se encuentran los anmoor de tundra, al descender, anmoor de vallecitos nevados y, por último, hasta los 1.900 metros, anmoor de valle. Aguilar et al. (1) estudian los prados húmedos del Barranco de San Juan, describiendo, entre 2.500 y 2.700 metros, una Turbera de Sphagnum y una Turbera de Ranker moderiforme; estos suelos, según la clasificación de la F. A. O. (19), serían, respectivamente, un Histosol Districo y un Histosol Eútrico. Delgado Calvo-Flores (12) reconoce, en las surgencias laterales de agua del Barranco Hondo (cuenca del río Dilar), formaciones de suelos clasificables como Anmoor de pendiente; en la clasificación americana de suelos de 1967 (41) serían Criaquents. Párraga (32) estudia un Histosol dístico (21), a 2.230 metros de altitud en la Dehesa de Camarate; lo clasifica en la «Soil Taxonomy» como Borofibríst (42).

En un trabajo cartográfico realizado por nosotros en la cuenca alta del río Dilar (15) se ha establecido que los suelos situados en los borreguiles de este área son Aquent (42). Dicha afirmación está basada, en parte, sobre el estudio detallado de un perfil, que es el que se presenta a continuación.

El suelo investigado se sitúa en un borreguil de gran extensión, cercano a la antigua laguna de las Yeguas (figura 1), y fue seleccionado porque morfológicamente representaba un perfil común en los borreguiles del área, además de recoger con cierta claridad el problema de estos suelos.

2. METODOLOGIA DE ESTUDIO

El perfil de suelo fue descrito siguiendo las normas de la F.A.O. (22), aunque la simbología de horizontes y clasificación pertenecen al «Soil Taxonomy» (42).

La relación completa de las determinaciones analíticas, realizadas sobre las muestras de horizontes, queda implícita en la exposición de los resultados (tabla 1). Las técnicas empleadas han sido las siguientes:

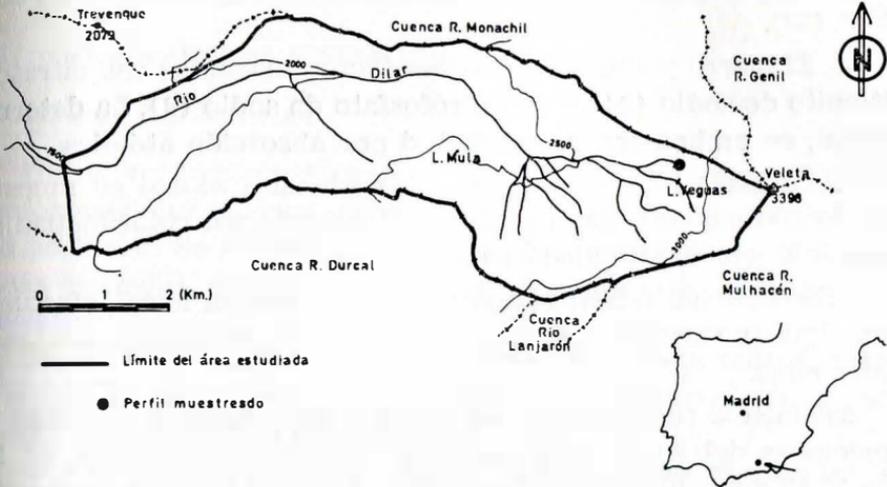


Fig. 1.—Localización de la zona y del muestreo.

— El análisis mecánico se ha efectuado por el método de la pipeta de Robinson y tamizado, empleando los límites de tamaño del U.S.D.A. (40) y en algún caso los del sistema de clasificación de suelos Unified (23).

— El carbono orgánico fue estimado por el método de la Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología «José María Albareda» (10).

— El nitrógeno total, el fósforo asimilable, y el potasio extraíble, fueron determinados por las técnicas del C.S.I.C. (11).

— La densidad aparente ha sido medida con parafina, tal como describe Santos Francés (38).

— La retención de agua a 1/3 y 15 atmósferas se estimaron con la membrana de Richards (37). El extracto de saturación fue preparado por el método de este mismo autor.

— El pH está medido en pasta saturada.

— Las bases y capacidad de cambio se han determinado con acetato amónico, a pH 7 (40). El sodio y el potasio fueron medidos por fotometría de llama, el calcio y el magnesio por absorción atómica y el amonio con un destilador Bouat Microkjeldahl. De los mismos autores citados ha sido extraído el concepto de Cm o porcentaje de tierra fina en volumen.

— La acidez de cambio está estimada por el método de Peech et al. (33).

— El hierro y aluminio «libres» fueron extraídos con citrato y ditionito de sodio (24) y con pirofosfato de sodio (8). La determinación, en ambos casos, se efectuó por absorción atómica.

— La sílice libre se extrajo con carbonato sódico en muestra exenta de materia orgánica y fue determinada por colorimetría del complejo sílico-molibdico reducido (25).

Cabe también referir el análisis de correlación lineal, efectuado con algunas variables, para investigar las dependencias existentes entre ellas.

Así mismo fue realizado un análisis mineralógico de todas las fracciones del suelo, empleando la técnica de difracción de Rayos X. El difractómetro utilizado es un Phillips Pw 1.730, con radiación $CuK\alpha$ y filtro de Níquel. La tierra fina, el limo, la arena, la grava y las muestras de roca, fueron estudiadas en polvo y las arcillas bajo la forma de agregado orientado. La arena y la grava se separaron por tamizado, el limo, por decantación y las arcillas por extracción (7).

En los diagramas de polvo cristalino se identificaron las fases minerales presentes (3, 4, 9 y 44) y se realizó un análisis mineralógico semicuantitativo (5 y 39).

Los agregados orientados de arcilla fueron obtenidos por sedimentación y secado de una suspensión de arcilla en placa de vidrio. La identificación y cuantificación de las especies mineralógicas presentes se ha realizado a partir de diversos tratamientos sobre las muestras; conversión de las arcillas en homioónicas, solvataciones, etcétera. El resultado final ha sido un análisis mineralógico cualitativo (3, 9, 18 y 43), la obtención de diversos parámetros cristalquímicos —tamaño de los cristales ilita (27), hierro octaédrico de ilita (29) y paragonitización de la ilita (20)— y la realización de un análisis mineralógico semicuantitativo (5 y 39). Para mayores precisiones sobre la metodología y técnica del análisis mineralógico empleado, consultar Delgado Clavo-Flores (14) y Delgado Calvo-Flores et al. (16).

3. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL PERFIL

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PERFIL

Altitud: 2.830 metros.

Forma del terreno: El paisaje circundante es montañoso y fue conformado por el glaciario wurmiense y el fuerte periglaciario posterior. Se reconocen vestigios glaciares (cubetas, umbrales, rocas estriadas, etc.) fosilizados parcialmente por canchales periglaciares.

El perfil fue excavado en el centro de una cubeta rocosa, donde se acumula y remansa el agua, sin que pueda llamarse laguna, puesto que el agua circula activamente.

La microtopografía es en lomos (a ello deben el nombre los borreguiles), teniendo cada lomo una extensión de dos a tres metros cuadrados. El suelo fue excavado en la ladera de uno de ellos.

Pendiente: Llano o casi llano (2 %).

Vegetación y uso de la tierra: Esencialmente gencianas. De acuerdo a la clasificación que hace Prieto de los borreguiles, sería un borreguil húmedo (35).

Se utiliza para pasto de ganado.

Orientación geográfica: Sur.

Régimen de humedad y temperatura del suelo (42): El de humedad se puede calificar de ácuico: Además de la hidromorfia y el régimen reductor, se ha comprobado, con medidas reales, que en épocas de saturación de agua —por ejemplo, el mes de junio— el suelo tiene, a 50 cm. de profundidad, una temperatura superior a 5° C.

El régimen de temperatura se ha estimado crítico, en base a medidas reales de temperatura.

Material de partida: Depósito de arenas y gravas finas, estratificado casi horizontalmente. En la parte baja del perfil se reconoce un derrubio de granulometría más gruesa, en el que se han observado cantos pulidos (horizonte IIC₃).

La roca madre es un micasquisto de grano medio, color acerao y esquistosidad marcada, perteneciente a la unidad de las Yeguas (26). Ópticamente ha sido clasificado como un micasquisto grafitoso con cloritoide y biotita.

Drenaje y profundidad de la capa freática: Es un suelo escasamente drenado, ya que el manto freático se encontraba, en el momento del muestreo, entre 55 y 60 cm. de profundidad, y en otras épocas del año alcanzará la superficie.

Condiciones de humedad del suelo: Mojado los primeros 55 a 60 centímetros y encharcado hacia abajo.

Pedregosidad y rocosidad superficial: Es muy pedregoso —cubierto por pedregones— y nada rocoso.

Evidencias de erosión y deposición: Sobre el punto concreto del perfil no se observan netamente, pero a escasa distancia existen la erosión hídrica laminar y en surcos, moderadas. Asimismo, en zonas adyacentes, hay deposición hídrica de arenas y gravas finas; tampoco se puede olvidar la existencia de procesos de reptación; en todos los casos se califican de moderados.

Fecha de descripción y muestreo: 8-9-1879.

3.2. Descripción de los horizontes de suelo

O.2. De 11 a 0 cm., aunque en la parte superior del lomo llega a 15 cm. y en la inferior decrece a 8cm.; pardo rojizo muy oscuro (6,25 YR 2/2) en húmedo, pardo muy oscuro (8,75 YR 2/2,5) en seco; franco limoso a franco arcillo limoso, sin grava (menos de 1 %); estructura migajosa fina débil a moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros muy finos, intersticiales, expd.; muchísimas raíces finas que le confieren al horizonte el carácter de una masa entrapada; son vivas; el límite con el horizonte subyacente es neto y ligeramente ondulado, ya que sigue algo la topografía de la superficie externa.

C.—De 0 a 2 cm.; gris muy oscuro (8,75 YR 3/1) en húmedo, pardo grisáceo oscuro (1,25 Y 4/1,5) en seco franco arenoso grueso con poca grava (5 % en volumen); estructura laminar fina muy débil; que rompe en migajosa media débil; no adherente, no plástico; pocos poros intersticiales, finos, expd.; los fragmentos gruesos son del micasquisto grafitoso, ya descrito como roca madre, y trozos más cuarzosos del mismo, subangulosos, de poco a medianamente meteorizados y recubiertos de una película de oxihidróxidos de hierro muy discontinua; muy pocos nódulos pequeños, blandos, irregulares, de oxihidróxidos de hierro; muchísimas raíces

ces finas y viva; el límite con el horizonte subyacente es neto y ligeramente ondulado, ya que sigue, de alguna manera, la topografía superior.

A1b.—De 2 a 3,5 cm.; negro (7,5 YR 2/1,5) en húmedo, pardo oscuro (8,75 YR 4, 2, 5) en seco; la textura se encuentra entre franco arcillo limoso, franco limoso y franco arcilloso, con poca grava (10 % en volumen); estructura migajosa fina débil; no adherente, no plástico; frecuentes poros finos, intersticiales, exped.; los fragmentos gruesos presentan las mismas características que los del horizonte anterior, con la única diferencia de que la pátina de óxidos de hierro es aquí más gruesa; frecuentes nódulos pequeños, blandos, redondeados, de oxihidróxidos de hierro; muchísimas raíces finas, muertas; pasa gradualmente al horizonte inferior y la forma del paso es ligeramente ondulada, como en los casos anteriores.

C1gb.—De 3,5 a 7,5 cm.; gris muy oscuro (6,25 y 3/1) en húmedo, pardo grisáceo (2,5 y 5/2) en seco; al secar aparecen pocas manchas, pequeñas, de límite difuso y color rojizo de formas de hierro; franco con poca grava (5 % en volumen); estructura laminar fina muy débil, que rompe en migajosa fina débil; ligeramente adherente, no plástico; los fragmentos gruesos son de la litología descrita como roca madre, y trozos más cuarzosos de la misma, subredondeados, poco a medianamente meteorizados (algo más que en los horizontes anteriores), y cubiertos de una pátina muy discontinua de oxihidróxidos de hierro que subyace a una de material limoso; muy pocos nódulos pequeños, irregulares, de formas de hierro; muchas raíces finas muertas; pasa gradualmente al horizonte inferior y la forma del límite es ligeramente ondulada como en los casos anteriores.

C2b.—De 7,5 a 27 cm., en la parte más somera, y de 7,5 a 44 cm. en la más profunda, ya que el límite con el horizonte inferior es irregular; negro (2,5 Y 2/1,5) en húmedo, gris oscuro (2,5 Y 4,5/1) en seco (estos colores se refieren a la materia predominantemente mineral, ya que los restos vegetales descompuestos, que son muy abundantes, tienen un color amarillento-parduzco en húmedo y levemente más claro en seco); franco arenoso con grava (20 % en

volumén); estructura laminar media moderada; no adherente, no plástico; los fragmentos gruesos son de las litologías descritas en los horizontes anteriores, subangulosos, poco a medianamente meteorizados y con una pátina discontinua de oxihidróxidos de hierro; en este horizonte se reconocen abundantes restos de raíces, tallos, hojas, etc., descompuestos y estratificados con la sustancia mineral; el límite con el horizonte subyacente es neto e irregular, siendo calificable a escala centimétrica, como erosivo (muy irregular).

IIC3b.—Más de 36 cm. (este valor es la media entre 27 y 44); negro (2,5 Y 2,5/1) en húmedo, gris oscuro (6,25 Y 4,5/0,5 en seco; arenoso franco grueso, muy pedregoso y con poca grava (75 % en volumen, entre piedras y gravas); los fragmentos gruesos son de las naturalezas descritas en los horizontes anteriores, de diversos grados de redondeamiento (hay algunos casi pulidos), de poco a medianamente meteorizados, con una pátina muy discontinua de oxihidróxidos de hierro y una más importante, que la cobre, de material limoso; de comunes a abundantes restos vegetales descompuestos, sin disposición estratificada.

3.3. DISCUSIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE ALGUNOS ASPECTOS DESCRIPTIVOS

En primer lugar trataremos de completar e interpretar la descripción de los efectos erosivos y deposicionales de amplias zonas del borreguil. Las calvas de vegetación y los charcos tapizados de arenas y gravas corresponden a cauces y pequeñas llanuras de inundación, por donde el agua circula activamente en invierno; las formas onduladas se deben a la escasa pendiente, ya que el agua tiende a serpentear.

Teniendo en cuenta el hecho descrito, que los horizontes son paralelos a la topografía superior, que el espesor de los horizontes decrece hacia las concavidades de los lomos y que se han detectado fenómenos de reptación, se puede afirmar que la microtopografía que presentan este tipo de suelos se debe al tipo de vegetación, la reptación y la acción erosiva del agua de escorrentía; también es probable que colaboren, aunque se carece de pruebas de ello, los fenómenos hielo-deshielo.

El segundo aspecto a considerar es la presencia de poros intersticiales, limitados por varios cantillos, y de recubrimientos limosos sobre los fragmentos gruesos de los horizontes inferiores.

Creemos que ambas formas están genéticamente relacionadas, debiéndose unas al lavado y otras a la deposición.

3.4. CLASIFICACIÓN

En las claves de Kubiens (1953), los datos recogidos no permiten clasificar más que a nivel de tipo, resultando ser un Anmoor; a pesar de todo podría aventurarse que es del subtipo Anmoor de tundra.

Según la «Soil Taxonomy» (42), el horizonte 02 es de material orgánico (sáprico con un 10 % aproximado de fibras, realizada la determinación con lupa de mano) y la mezcla de los 25 cm. superiores es un epipedón Hístico. No es un histosol, al carecer de espesor suficiente de material orgánico, aun considerando que el perfil hubiera sido excavado en la parte superior del lomo, donde el 02 llega a los 15 cm. Las saturaciones de agua y el color permiten clasificarlo en el orden Entisoles, suborden Aquent. A nivel subgrupo sería un Criacuent Típico.

4. RESULTADOS ANALITICOS Y DISCUSION DE LOS MISMOS

4.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Los resultados de las determinaciones se exponen en la tabla 1. Se pueden destacar los siguientes aspectos:

— La textura de la tierra fina y el contenido de gravas de las muestras están en plena concordancia con la clasificación y demás símbolos de los horizontes. De esta forma las capas más evolucionadas O y A enterrado, presentan la textura más fina, y la discontinuidad litológica existente entre los horizontes C₂, y IIC₃, se manifiesta por el salto brusco del contenido de gravas.

— Las variaciones con la profundidad de los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo asimilable y potasio extraíble, siguen caminos paralelos, demostrando la relación existente entre todos ellos; el carbono orgánico y el nitrógeno componen una parte muy importante de la materia orgánica, el fósforo participa en la constitución y procesos metabólicos de los organismos y el potasio extraíble es el de cambio iónico. La corroboración numérica del comportamiento enunciado se recoge en la tabla II, bajo la forma de correlaciones lineales, las cuales son altamente significativas a pesar del escaso número de datos.

TABLA I
DATOS ANALITICOS DEL PERFIL

Horizonte	Profundidad (cm)	% arena	% limo	% arcilla	Muy gruesa	(%) Arenas			Muy fina	% unificada
						gruesa	media	fina		
O2	11-0	19,0	53,9	27,2	0,8	2,4	1,9	8,0	6	83,7
C	0-2	59,9	32,9	7,2	7,5	20,8	8,1	17,4	6,1	41,5
A1b	2-3,5	19,6	52,8	27,6	1,7	2,8	2,5	9,1	3,6	80,7
C1gb	3,5-7,5	47,4	42,9	9,7	2,7	7,8	8,2	22,2	6,5	52,9
C2b	7,5-36	72,1	24,4	3,5	5,8	17,8	15,7	27,2	5,5	28,2
IIC3b	> 36	80,3	18,1	1,6	17,1	29,2	13,7	17,0	3,4	20,0

% grava	% C	% N	C/N	Densidad aparente (gr/cc)			gr/cc 110° C	Cm	% Retención		mm/cm Agua útil	pH
				mgr/100 gr P	gr humedad K	campo			pF 1/3	pF 15		
< 1	25,62	1,558	16	3,6	59,9	1,15	1,01	1,00	102,40	82,01	2,04	4,0
8	5,17	0,348	15	0,7	9,6	1,17	1,09	0,94	35,53	29,20	0,65	4,2
15	13,26	1,071	12	1,6	19,1	1,18	0,98	0,90	70,06	66,81	0,29	4,3
5	4,26	0,301	14	0,7	4,2	1,12	0,95	0,97	37,37	19,26	1,67	4,6
27	5,43	0,327	17	0,7	2,1	1,25	1,07	0,81	10,35	8,58	0,15	4,6
81	0,88	0,068	13	0,7	2,1				11,90	4,35		4,5

TABLA I (Continuación)

Horizonte	Bases de cambio (meq/100 gr)				(meq/100 gramos)	(meq/100 gramos)	Capacidad de cambio (meq/100 gr)	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma de bases	Acidez	AC NH ₄ ⁺	Suma cationes
02	14,2	3,7	0,4	1,7	20,0	52,7	49,3	72,7
C	2,2	0,6	0,2	0,2	3,2	22,4	21,1	25,6
A1b	3,5	1,1	0,2	0,5	5,3	58,3	40,5	63,6
C1gb	1,2	0,4	0,2	0,2	2,0	20,7	17,7	22,7
C2b	0,9	0,3	0,1	0,1	1,4	17,2	14,4	18,6
IIC3b	0	0,1	0,1	0,1	0,7	4,1	4,7	4,8

% saturación de bases ACNH ₄ ⁺	Suma cationes	mmhos/cm		Pirofosfato		Citrato-Ditionito		mgr/100 gr SiO ₂ libre
		% Agua satur.	Conduc. extrac.	% Fe libre	% Al libre	% Fe libre	% Al libre	
40,6	27,5	156,0	0,45	0,49	0,79	0,61	0,30	117,32
15,2	12,5			0,15	0,44	0,57	0,15	82,54
13,0	8,3			0,92	1,38	1,28	0,92	203,95
11,3	8,8			0,17	0,56	0,78	0,17	130,17
9,7	7,5			0,13	0,34	0,14	0,13	70,58
14,6	14,6			0,05	0,06	0,12	0,05	0,63

— Las densidades aparentes son de tierra fina.

— El agua de saturación y la conductividad del extracto, corresponden a una muestra media, de los cuatro primeros horizontes.

— Los análisis están referidos a peso seco a 110° C

— Los valores, relativamente altos en todo el perfil, de los contenidos de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, son un reflejo del tipo de suelo. Por otra parte, los máximos en los horizontes O y A vuelven a demostrar que la secuencia de horizontes establecida es correcta.

— El gran contenido de materia orgánica justifica las bajas densidades y las importantes retenciones de agua. Prueba de ello son las correlaciones lineales, altamente significativas, carbono orgánico con la humedad a 1/3 y 15 atmósferas (II).

— Las relaciones C/N impiden pensar en un humus muy bruto.

— En el complejo de cambio domina el calcio, le siguen el magnesio y el potasio y por último el sodio. Los alcalinotérreos son más importantes que los alcalinos —en estos suelos derivados de rocas ácidas— por la solubilidad de los segundos y los aportes externos (17).

— La capacidad de cambio presenta máximos en los horizontes O₂ y A₁, porque los valores de carbono y arcilla, principales responsables del complejo de cambio, crecen así mismo. La gran relación existente entre las magnitudes citadas, se pone de manifiesto en las correlaciones lineales carbono —capacidad de cambio y carbono— arcillo, que son elevadas y altamente significativas (II).

— Destaca el valor tan elevado de la acidez de cambio, que conjuntamente con el pH y la saturación de bases son un índice del lavado casi continuo a que el perfil está sometido. Los valores de saturación de bases del horizonte D, algo mayores que el resto, se deben claramente al reciclaje biológico.

— Los óxidos libres tienen máximos en los horizontes O₂, A_{1b} y C_{1gb}; en los dos primeros casos la mayor reactividad se debe al carácter orgánico y en el tercero a la hidromorfía.

— Resulta interesante que los óxidos extraídos con citrato-ditionito —por tanto fases inorgánicas— sean de valores análogos, o incluso inferiores, a los extraídos con pirofosfato, los cuales están ligados a los compuestos orgánicos (30). Se podría pensar que este suelo fuera un podsol, en contra de todo lo expuesto, y que el horizonte espódico estuviera constituido por los niveles A_{1b} y C_{1gb}. Dicho extremo se ha dilucidado con los test químicos del horizonte espódico (42), muy indicados para podsolizaciones mal expresadas, como podría ser el presente caso. Dado que la relación hierro + aluminio (extraídos con pirofosfato) / arcilla es de 0,08 y para que fuera un horizonte espódico debería ser 0,2, se demuestra que no es aceptable la hipótesis antedicha.

TABLA II
ANÁLISIS DE CORRELACION LINEAL DE DIVERSAS CARACTERISTICAS
DE LOS SUELOS

<i>x</i>	<i>y</i>	<i>n</i>	<i>Ecuación</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Carbono Orgánico (%)	Nitrógeno (%)	6	$y = 0,044 + 0,062 x$	0,984	< 0,001
Carbono Orgánico (%)	Fósforo (mgr/100 gr)	6	$y = 0,187 + 0,126 x$	0,977	< 0,001
Carbono Orgánico (%)	Potasio (mgr/100 gr)	6	$y = -5,711 + 2,403 x$	0,973	< 0,001
Carbono Orgánico (%)	Humedad 1/3 at. (%)	6	$y = 10,732 + 3,721 x$	0,944	< 0,001
Carbono Orgánico (%)	Humedad 15 at. (%)	6	$y = 4,918 + 3,308 x$	0,934	< 0,001
Carbono Orgánico (%)	Capacidad cambio (meq/100 gr)	6	$y = 8,576 + 1,759 x$	0,946	< 0,001
Arcilla (%)	Capacidad cambio (meq/100 gr)	6	$y = 6,719 + 1,388 x$	0,966	< 0,001

4.2. ESTUDIO MINERALÓGICO

Los análisis mineralógicos realizados sobre los diagramas de polvo cristalino denotan que todas las fracciones del suelo —exceptuando la arcilla— están compuestas de clorita, cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa (albita de baja temperatura), goetita, hematites, cloritoide y filosilicatos de la arcilla; los últimos los hemos denominado laminares (ilita, paragonita, caolinita, montmorillonita e interestratificados).

La cuantificación de las distintas especies mineralógicas, en los diagramas de polvo cristalino, constituye la tabla II y sobre la misma pueden extraerse las siguientes conclusiones.

— Las muestras estudiadas están constituidas casi esencialmente por laminares y cuarzo.

— No existen diferencias mineralógicas notables entre las diversas fracciones, e incluso con la roca. Ello demuestra que el suelo no tiene una gran evolución edáfica.

— Generalmente las fracciones gruesas de un horizonte tienen más cuarzo y menos filosilicatos que las finas. En la pareja arenalimo se podría argumentar, para explicar esta tendencia, que existen repartos mineralógicos selectivos al tamaño, consecuencia del comportamiento a la disgregación de los distintos minerales. En el caso tierra fina-grava las diferencias se justificarían, además, por la existencia en la primera de la fracción arcilla.

El análisis mineralógico de la arcilla (IV) revela la existencia de Iilita, Clorita, Caolinita, Paragonita, Montmorillonita, Goetita, Gibsita, Interestratificados Iilita-Montmorillonita hinchables (desordenados) e Interestratificados Iilita-Montmorillonita no hinchables (ordenados y con la esmectita parcialmente cloritizada) (6 y 14).

De las fases anteriores referidas, en las rocas madres de los suelos sólo existen las micas y la clorita, por lo que el resto pueden considerarse generadas por los procesos de alteración edafocímica. Este hecho podría haberse sospechado también comparando la composición de las arcillas de los horizontes C con la del O₂ y A_{1b}, ya que las primeras son más ricas en minerales heredados de la roca y las segundas en las fases nuevas.

TABLA III

ESTUDIO MINERALOGICO DEL PERFIL. ANALISIS MINERALOGICO
SEMICUANTITATIVO SOBRE LOS DIAGRAMAS DE POLVO CRISTALINO

TIERRA FINA

Horizonte	Clorita	Cuarzo	Feldespato potásico	Plagio- clasa	Goetita	Hematites	Laminares	Accesorios
02	1,6	27,4	1,6	2,8	9,2	—	57,4	6 % Cloritoide
C	4,8	40,0	0,9	3,8	—	1,7	48,9	11 % »
A1b	2,8	29,0	2,0	3,9	TR	—	62,2	3 % »
C1gb	3,6	40,5	1,8	3,0	6,2	—	44,8	4 % »
C2b	3,7	42,3	2,1	3,3	TR	1,6	46,9	5 % »
IIC3b	4,0	50,6	1,6	2,5	—	—	41,3	5 % »

GRAVA

Horizonte	Clorita	Cuarzo	Feldespato potásico	Plagio- clasa	Goetita	Hematites	Laminares	Accesorios
02	1,7	50,3	TR	1,8	—	TR	46,1	1 % Cloritoide
C	3,7	56,3	TR	3,3	TR	—	36,7	3 % »
A1b	1,6	52,1	1,7	1,6	TR	3,0	39,9	1 % »
C1gb	2,4	56,8	1,0	1,4	TR	3,8	34,5	1 % »
C2b	3,9	40,1	1,9	3,5	—	3,5	47,0	2 % »
IIC3b	3,5	51,2	1,2	2,1	—	—	42,0	

ROCA

Horizonte	Clorita	Cuarzo	Feldespato potásico	Plagio- clasa	Goetita	Hematites	Laminares	Accesorios
(*)	1,0	60,5	1,2	0,8	TR	1,3	35,1	

TABLA III (Continuación)

ARENA

<i>Horizonte</i>	<i>Clorita</i>	<i>Cuarzo</i>	<i>Feldespató potásico</i>	<i>Plagio-clasa</i>	<i>Goetita</i>	<i>Hematites</i>	<i>Laminares</i>	<i>Accesorios</i>
02	0,9	44,8	1,0	4,2	—	—	49,0	TR Cloritoide
C	3,8	53,6	2,7	4,8	TR	2,7	32,3	7 % »
A1b	2,6	47,6	1,4	12,3	TR	0,9	35,1	4 % »
C1gb	3,9	58,7	TR	10,7	—	0,7	25,8	6 % »
C2b	6,7	41,5	2,3	9,9	—	3,6	35,9	2 % »
IIC3b	4,1	54,4	2,0	4,1	—	—	35,4	8 % »

LIMO

<i>Horizonte</i>	<i>Clorita</i>	<i>Cuarzo</i>	<i>Feldespató potásico</i>	<i>Plagio-clasa</i>	<i>Goetita</i>	<i>Hematites</i>	<i>Laminares</i>	<i>Accesorios</i>
02	3,1	39,4	2,3	5,4	—	1,9	47,9	3 % Cloritoide
C	7,3	23,1	2,5	5,6	TR	7,2	54,2	2 % »
A1b	1,3	37,1	3,0	6,0	TR	3,1	49,4	5 % »
C1bg	3,4	39,3	2,3	5,6	3,7	—	45,5	5 % »
C2b	9,1	19,2	3,8	11,7	—	4,8	51,3	1 % »
IIC3b	8,2	15,5	0,9	3,6	—	TR	71,8	2 % »

— TR = Cantidades detectables, pero no cuantizables.

— Los análisis están recalculados al 100 %, excluyendo los minerales accesorios.

(*) Muestra de roca recogida en un afloramiento a pocos metros del perfil.

TABLA IV

ESTUDIO MINERALOGICO DEL PERFIL. ANALISIS DE LA FRACCION
ARCILLA Y PARAMETROS CRISTALQUIMICOS DE ILITA Y PARAGONITA
ANALISIS MINERALOGICO SEMICUANTITATIVO

Horizonte	Ilita	Clorita	Caolinita	Paragonita	Montmorillonita	Interestrat. hinchables	Interestrat. ordenado (50% - 50%)	Interestrat. ordenado (66,6 % - 33,3 %)	Accesorios
02	20,9	8,1	13,1	4,5	4,5	42,4	2,7	3,9	Gb, Tr; Gt, Tr.
C	40,4	9,3	7,2	5,1	3,6	28,6	1,0	4,9	Gb, Tr; Gt, Tr.
A1b	17,4	5,1	10,8	2,4	8,9	39,3	2,6	13,5	Gb, Tr; Gt, Tr.
C1gb	35,0	11,6	11,6	3,0	1,6	27,2	0,8	9,4	Gb, Tr; Gt, Tr.
C2b	32,0	13,6	10,6	4,8	3,0	27,5	1,1	7,4	Gb, Tr; Gt, Tr.
IIC3b	43,7	20,4	7,1	5,2	3,5	13,5	Tr.	6,6	Gb, Tr; Gt, Tr.

PARAMETROS CRISTALQUIMICOS

Horizonte	ILITA			PARAGONITA		
	Tamaño (Å)	Hierro octaédrico (átomos)	Grado paragon. (moles)	^a 002 (Å)	Cristalinidad (mm)	^a 002 (Å)
02	270	—	0,11	9,98	—	—
C	240	0,30	0,11	9,98	2,3	9,65
A1b	285	—	0,13	9,97	—	9,63
C1gb	290	0,33	0,06	9,99	2,4	9,60
C2b	265	0,46	0,11	9,98	2,7	9,66
IIC3b	460	—	0,06	9,99	2,3	9,65

- El análisis se ha recalculado a 100 %, eliminando los accesorios.
- Tr = Mineral en cantidades detectables, pero no cuantizables.
- Los interestratificados están compuestos de ilita y montmorillonita. En las fases ordenadas (no hinchables) el primer porcentaje corresponde a la mica y el segundo a la esmectita.
- El guión en los parámetros cristalquímicos (—) indica medida no realizada.
- Gb = Gibsita; Gt = Goetita.

5. CONCLUSIONES

A la luz de todo lo expuesto podemos interpretar con bastante seguridad cuáles son los mecanismos y procesos que controlan y colaboran al desarrollo del perfil estudiado.

La cubeta que alberga al borreguil es un área de depósito de materiales groseros procedentes de las laderas, ya que a ella vierten las aguas de zonas próximas. Sobre los derrubios se implanta una vegetación espesa, con un sistema radicular corto, pero importante, y adaptada a las condiciones hidromorfas, que va originando un horizonte superior algo evolucionado y rico en materia orgánica.

En la época de deshielo grandes áreas del borreguil son alcanzadas por el nivel freático y existe circulación superficial activa de agua, que provoca la erosión de parte del horizonte superior. Estas zonas erosivas pueden, en otro momento, ser deposicionales y pasar por etapas de estabilidad que permita la vuelta de la vegetación y la formación de un nuevo horizonte superior.

Se puede afirmar, en consecuencia, que la génesis de estos suelos está ligada a fenómenos rítmicos erosión-deposición-edaforización.

Las principales pruebas que se pueden aportar, para defender las teorías genéticas establecidas, se centran en la secuencia de horizontes, ya que existe un horizonte A1 enterrado y un C (C2) constituido por restos vegetales descompuestos y estratificados con material mineral. Así mismo poseen gran peso interpretativo las observaciones superficiales sobre la microtopografía y los fenómenos erosivos y deposicionales.

Con referencia a los controles del tipo de suelo, no sólo hay que considerar la existencia de una cubierta de vegetación importante, que condiciona grandes cantidades de humus, o los ritmos erosión-edaforización; también poseen un papel destacado la presencia de un manto freático somero, que genera nódulos y manchas ferruginosas y el intenso lavado a que está sometido el perfil, que condiciona una gran acidez. Todos los controles citados poseen un denominador común, la relación con la abundancia de agua y la situación en el borreguil.

A nivel de la cuenca del río Dilar (15) prácticamente todos los suelos que se desarrollan en los borreguiles son Aquent y a ellos es aplicable todo lo dicho para el perfil estudiado. Considerando todo el macizo de Sierra Nevada, con los datos de este suelo y los

de la bibliografía no se puede dar un esquema claro y definitivo; en primer lugar faltan elementos de referencia, puesto que han sido realizados muy pocos trabajos y en segundo lugar los criterios de descripción y clasificación han cambiado mucho y muy rápido en los últimos años, haciendo imposible la reconversión de los datos de la bibliografía a un sistema único. A pesar de todo, lo más coherente con toda la información disponible es que la mayor parte de los suelos desarrollados sobre los borreguiles de Sierra Nevada sean Aquent [en la clasificación de Kubiera (28) estos suelos encajarían aproximadamente con los anmoor] y el resto, sobre todo las Turberas, pueden considerarse Histosoles o suelos orgánicos de la «Soil Taxonomy» (42).

BIBLIOGRAFIA

- (1) AGUILAR RUIZ, J.; VARO ALCALÁ, J., y MORALES TORRES, M. C. (1972). Estudio de las turberas del Barranco de San Juan (Sierra Nevada). Trab. Dep. Bot. Univ. Granada, vol. 1, págs. 7-20.
- (2) ALIAS, J. L., y PÉREZ PUJALTE, A. (1968). Los suelos de los pisos Montano Superior y Alpino de la ladera Sur del Mulhacén (Sierra Nevada). An. Edaf. y Agrobiol., vol. 27.
- (3) A. S. T. M. (Joint Committee on powder diffraction standards, U. S. A.) (1947). Selected powder diffraction data for minerals. Joint Committee on powder diffraction standards (U. S. A.).
- (4) BAMBAUER, H. V.; CORLETT, M.; EBERHARD, E., y VISWANATHAN, K. (1947). Scheveirische Mineralogische und Petrographische Mitteilung, Band 47.
- (5) BARAHONA FERNÁNDEZ, E. (1974). Arcilla de ladrillería de la provincia de Granada. Evaluación de algunos ensayos de materias primas. Tesis doctorales de la Universidad de Granada 49.
- (6) BARAHONA, E.; DELGADO CALVO-FLORES, R., y LINARES, J. (1981). Estudio de las características del sistema edáfico de Sierra Nevada mediante análisis factorial. An. Edaf. Agrobiol (en prensa).
- (7) BARAHONA, E., y DELGADO CALVO-FLORES, R. (1981). La extracción de fracción arcilla para el estudio meneralógico por difracción de Rayos X (en preparación).
- (8) BASCOMB, C. L. (1968). Distribution of pyrophosphate extractable iron an organic carbon in soils of various groups. Jour. Soil Sci., 19, 251-268.
- (9) BROWN, G. (1961). The X-Ray identification and Crystal structures of Clay minerals. Mnerallogical Society, London.
- (10) COMISION DE METODOS ANALITICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA «JOSE MARIA ALBAREDA» (1973). Determinaciones analíticas en suelos. Normalizaciones de métodos. An. Edaf. Agrobiol., 32, 1153-1172.

- (11) C. S. I. C. (Estación Experimental del Zaidín) (1969). Métodos analíticos de la Estación Experimental del Zaidín (Report Interno). Estación Experimental del Zaidín, Granada.
- (12) DELGADO CALVO-FLORES, R. (1977). Balance geoquímico de las alteraciones superficiales en el Barranco Hondo (Sierra Nevada). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Univ. Granada, 233 págs.
- (13) DELGADO CALVO-FLORES, R.; HUERTAS, F., y LINARES, J. (1979). Los suelos del Barranco Hondo (Sierra Nevada) (II). Estudio Geoquímico. An. Edaf. y Agrobiol., XXXVIII, 1555-1572.
- (14) DELGADO CALVO-FLORES, R. (1980). Edafología y Geoquímica de las alteraciones superficiales en la cuenca alta del río Dilar (Sierra Nevada). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 668 págs.
- (15) DELGADO CALVO-FLORES, R.; BARAHONA, E., y LINARES, J. (1982). Distribución de los suelos de la cuenca alta del río Dilar (Sierra Nevada). An. Edaf. y Agrobiol., XLI, pág. 39.
- (16) DELGADO CALVO-FLORES, R.; BARAHONA, E.; HUERTAS, F., y LINARES, J. (1982). Los mollisoles de la cuenca alta del río Dilar (Sierra Nevada). An. Edaf. Agrobiol. XLI, pág. 59.
- (18) DIXON, J. B., y WEED, S. B. (Edit.) (1977). Minerals in soil Environments. Soil Science Society of America.
- (19) DUDAL, R. (1968). Definitions of soil units for the soil map of the World. World Soil Resources Reports, 33, F. A. O. Roma.
- (20) EVANS, B. W., y GUIDOTTI, C. V. (1966). The sillimanita-potash Feldspar isograd in Western Maine, U. S. A. Contr. Miner. Petrol., 12, 25-62.
- (21) F. A. O. (1973). F. A. O./U. N. E. S. C. O. Soil Map of the World. The Legend. Soil Resources Development and Conservation Service. Land and Water Development Division. F. A. O., Roma.
- (22) F. A. O. (1977). Guías para la descripción de perfiles de suelos. F. A. O., Roma.
- (23) GUILLOT, J. E. (1968). Clay in engineering Geology. Elsevier Co., 296 págs.
- (24) HOLGREN GEORGE, G. S. (1967). A rapid Citrate-Ditionite extractable Iron procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31, 210-211.
- (25) HUERTAS, F., y LINARES, J. (1973). Análisis químico de silicatos. Report Interno-Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C.), Granada.
- (26) I. G. M. E. (1980). Mapa Geológico de España. Hoja de Guejar Sierra (1027). Elaborado por Burgos, J.; Díaz de Federico, A.; Gallegos, J. A.; Puga, E., y Sanz de Galdeano, C.
- (27) KLUGG, P., y ALEXANDER, L. E. (1954). X-Ray Diffraction Procedures. John Wiley & Sons.
- (28) KUBIENA, W. (1952). Claves sistemáticas de suelos. C. S. I. C., Madrid.
- (29) MARTÍN RAMOS, D. (1976). Las Micas de las Cordilleras Béticas. Zonas Internas. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Univ. Granada.
- (30) MCKEAGUE, J. A.; BRYDON, J. E., y MILES, N. M. (1971). Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. Soil Sci. Am. Proc., 35, 33-38.

- (31) MORALES TORRES, M. C. (1972). Estudio fitosociológico y florístico de la Dehesa de Guejar Sierra (Sierra Nevada). Tesis doctoral de la Universidad de Granada.
- (32) PARRAGA MARTÍNEZ, J. F. (1980). Estudio edáfico de la Dehesa del Camarate (Lugros, Sierra Nevada). Tesis doctoral, Facultad de Ciencias. Univ. Granada.
- (33) PEECH, M.; COWAN, R. L., y BAKER, F. H. (1962). A critical study of the BaCl_2 -Triethanolamine and the ammonium acetate methods for determining the exchangeable hydrogen content of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26, 37-40.
- (34) PRIETO, P. (1971). Vegetación de Sierra Nevada. La cuenca del Monachil. Colec. Monograf. Univ. Granada, 11.
- (35) PRIETO, P. (1975). Flora de la Tundra de Sierra Nevada. Secr. Publ. Univ. Granada.
- (36) RAYA, J. (1959). Génesis de algunos suelos de Sierra Nevada en relación con la altura, el clima y la vegetación. Tes. Facultad Farmacia, Univ. Granada.
- (37) RICHARDS, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Salinity Laboratory, U. S. Dept. Agrc., Handbook 60.
- (38) SANTOS FRANCES, F. (1975). Estudio Geológico y Edafológico del Sector Montiel-Alcaraz-Bienservida (Ciudad Real-Albacete). Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.
- (39) SCHULTZ, L. G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-Ray and chemical data for the Pierre shale. Geol. Surv. Prof. Pap. U. S. A., 391C.
- (40) SOIL CONSERVATION SERVICE (U.S. DEPT. AGRIC.) (1972). Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples.
- (41) SOIL SURVEY STAFF (1967). Supplement to Soil Classification (VIIth Approximation). M.S.D.A. Soil Conservation Service, Washington.
- (42) SOIL SURVEY STAFF (1975). Soil Taxonomy. Soil Conservation Service. U. S. Department of Agriculture. Handbook M.º 436, 754 págs.
- (42) THOREZ, J. (1975). Phyllosilicates and clay minerals. Ed. G. Lelotte (Belg.).
- (44) WRIGHT, T. L. (1968). X-Ray and optical study of alkali feldspar: II-An X-Ray methods for determine the composition and structural state from measurement of 20 values for three reflections. Am. Min., 53, 88-104.