HORIZONTE VESICULAR: MORFOLOGIA Y GENESIS EN UN ARIDISOL DEL NORTE DE LA PATAGONIA *

Hugo L. Figueira

Dirección Gral. de Agricultura y Ganadería de Neuquén - C.C. 645 - (8300) Neuquén y Universidad Nac. del Comahue - C.C. 60 - (8303) Cinco Saltos

RESUMEN

Se describe la macro- y micromorfología del suelo estudiado. Material del horizonte Av fue tratado mediante ciclos de humectación-desecación y lluvias simuladas de modo de recomponer la estructura vesicular. La evolución se siguió mediante el empleo de diversas técnicas, incluyendo micromorfometría. Las condiciones de encierro de aire durante las lluvias y expansión por temperatura son factores determinantes.

Palabras Clave: microestructura vesicular, humectación-desecación, lluvias simuladas, micromorfometría, Aridisoles.

VESICULAR HORIZON: MORPHOLOGY AND FORMATION IN AN ARIDISOL OF NORTHERN PATAGONIA

ABSTRACT

Macro- and micromorphology of the soil are given. Av material was subjected to wetting-drying and simulated rainfall cycles in order to recompose the vesicular structure. The evolution was followed using different techniques, including micromorphometry. Air entrapment conditions during rainfalls and heat expansion are determinant factors.

Key Words: vesicular microstructure, wetting-drying, simulated rainfalls, micromorphometry, Aridisols.

---

* Extractado de "Study of vesicular structure in arid soils (North Patagonia - Argentina)", tesis de Master in Soil Science, Univ. de Gante, Bélgica, 1981-82.
Trabajo presentado al X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 1983.

INTRODUCCION

Este estudio se realizó sobre un suelo situado en la meseta que se extiende en la margen izquierda del cauce inferior del río Neuquén. La presencia de un horizonte superficial vesicular es un rasgo generalizado del área.

Los objetivos del trabajo fueron la caracterización del horizonte vesicular y el estudio de la génesis y dinámica de su estructura.

Si bien varios autores habían descripto horizontes vesiculares, fue Springer (1958) el primero en dar una descripción detallada e interpretación genética, introduciendo el símbolo Av. Paletskaya et al. (1958) atribuyeron la formación de vesículas en costras de takyr a la presión de CO_2 producido a partir de carbonatos. Evenary et al. (1974) describieron estructuras similares en los desiertos de Negev y Sinai, las que fueron reproducidas en laboratorio llegando a la conclusión de que su formación está asociada al aire atrapado durante lluvias por el pavimento de desierto. Yaalon (1974) adjudicó un papel importante a los cambios de temperatura. Miller (1971) estudió su formación en suelos regados por surcos y desestimó la influencia de la temperatura, atribuyendo un efecto determinante a la presión capilar. Una detallada descripción macro- y micromorfológica de diferentes horizontes superficiales vesiculares en Níger fue presentada por Valentín (1981). Según Verheye (1981) las características comunes a los suelos de desierto con horizonte vesicular son la textura franca o limosa y la presencia de carbonato de calcio en la masa.

En Argentina el horizonte Av se presenta en Aridisoles de casi todas las provincias andinas, especialmente en Puna y Patagonia (Ferrer, comunicación personal). En esta última es citado por Papadakis y Etchevehere (1962), Ferrer (1978), Ferrer et al. (1978), Laya et al. (1979) y Laya (1980). Asimismo, su mineralogía fue descripta por Imbellone y Ferrer (1980).

MATERIALES Y METODOS

El suelo estudiado se describe en el anexo.

Micromorfología

Las muestras, extraidas con cajas Kubiena, fueron impregnadas al vacío con polyestireno. Se prepararon láminas delgadas de cortes normales y paralelos a la superficie sobre portaobjetos de 24 x 48 y 90 x 120 mm. La terminología sigue el sistema de Stoops (1978) para la descripción general y en particular para la fábrica-b (b-fabric = birefringence fabric) y clasificación de poros, respetando en lo posible las traducciones propuestas en Jongerius y Rutherford (1979).

Experiencias especiales

Se llevaron a cabo para reproducir en laboratorio al menos algunas de las condiciones externas a las que el suelo esta sujeto en condiciones naturales.

a) Ciclos humectación-desecación: submuestras de 200 g fueron tamizadas (1 mm) y colocadas en cajas de aluminio de 11 x 7 x 4 cm con ranuras en los costados. En algunas se agregó grava de 2-5 cm simulando pavimento de desierto. Se humectaron colocando las cajas en una bandeja con 1 cm de agua destilada durante 2 horas y saturando desde superficie después. Para el secado se colocaron en horno a 45°C por 24 horas. La humedad tomada a 105°C alcanzaba 1,02 por ciento. Con diferentes grupos de muestras se realizaron 1, 5, 10, 20 y 30 ciclos.

b) Ciclos lluvia simulada-desecación: con la misma preparación las muestras fueron expuestas a la acción de un simulador de lluvias (Gabriels et al., 1973), alcanzando 9,5-10,5 mm durante media hora, con 100 picos formadores de gota de 3 mm. Este equipo es utilizado habitualmente para estudios de erosión y dinámica de fertilizantes. Las muestras fueron secadas a 30°C hasta 1,97 por ciento de humedad a 105°C. Se completaron 1, 5 y 10 ciclos.

Micromorfometría

Las muestras fueron impregnadas directamente en las cajas utilizadas para los ciclos de humectación y lluvias simuladas, dando lugar a secciones perpendiculares a la superficie de 3,5 x 10 cm. El equipo utilizado fue un microscopio Leitz Orthoplan proyectando su imagen sobre una pantalla de inducción magnética con un digitador Summagraphics en interfase con una microcomputadora Hawlet Packard 85. Se llevaron a cabo dos tipos de mediciones:

a) Conteo de líneas: sobre imágenes amplificadas 160 veces, se midieron segmentos a lo largo de los 2 cm superficiales, sobre 18 campos con 5 líneas cada uno, alcanzando alrededor de 28 cm lineales y más de 1500 intersecciones. Se distinguieron cuatro variables: matriz, vesículas, fisuras horizontales y otros poros (principalmente cavidades). Para cada uno se obtuvo porcentaje de área (= volumen por ciento) y para las vesículas la distribución de frecuencias del largo de cada segmento.

b) Mediciones sobre perímetro de poros: sobre imágenes amplificadas 100 veces, tomando todos los poros visibles (excepto fisuras) de un determinado campo. Se obtuvieron valores de perímetro, área, diámetro calculado (diámetro de un círculo de igual área) y razón de forma lobulada RFL (Lappungsquotient según Beckmann (1962), igual a perímetro calculado/perímetro actual). Separando cavidades de vesículas según los rasgos que las distinguen (Brewer, 1976) y tomando los valores individuales de RFL se determinó que RFL = 75 por ciento es un claro límite entre los dos tipos de poros.

Otras determinaciones

La estabilidad de agregados fue caracterizada por el método de alcohol-agua (De Boodt y De Leenher, 1959); para la tasa de difusión de oxígeno se siguió la técnica de Letey y Stolzy (1964), utilizando microelectrodos de platino y la superficie específica fue obtenida por adsorción de nitrógeno con un equipo Strohlein.

Para la destrucción de carbonato de calcio se siguió la técnica del acetato de sodio buffer (Black, 1965), utilizando fracciones de 50 g de suelo. Posteriormente el complejo de cambio fue resaturado con Ca usando $CaCl_2$ 1 N. Este material fue expuesto a 10 ciclos de humectación.

En la determinación de densidad aparente, por las características del material, se decidió la utilización del método de la parafina para agregados de suelo (Black, op. cit.) El número de repeticiones fue 4 para cada caso, determinado segun la propuesta de De Boodt (1959), con un coeficiente de variación hallado de 2 por ciento, α = 0,1 y una diferencia detectable deseada de 5 por ciento.

RESULTADOS

Las determinaciones llevadas a cabo fueron realizadas sobre el material expuesto a los diferentes tratamientos, graficadas o tabuladas en función del número de ciclos y comparadas con datos del horizonte Av en los casos posibles.

La Tabla 1 y las Fig. 1, 2 y 3 muestran la disminucion de la densidad aparente con el correspondiente aumento de porosidad total. Con desecación a menor temperatura la disminución fue mucho menor mientras que experiencias adicionales con material decalcificado, diferentes períodos de humectación y presencia o ausencia de pavimento simulado no causan diferencias adicionales. Los métodos micromorfométricos muestran que el número de poros, la porosidad total y el porcentaje de vesículas siguen aproximadamente curvas de segundo grado, haciéndose asintóticas al Av

TABLA 1: Determinaciones seleccionadas sobre material tratado y natural.

Tratamiento	Nº	Densidad aparente	Estabilidad (% alcohol)	Superficie específica $m^2\ kg^{-1}$	Razón de forma lobulada (> 100 µm)	% vesículas sobre porosidad total	
						Nº	Area
Ciclos	1	1,54	100 +	22 950			
Humectación	5	1,41	95		76,85	69,0	49,3
Desecación	10	1,31	90	22 830	77,22	72,6	67,9
	20	1,19	90		80,74	72,7	68,1
	30	1,18	85	21 560	80,66	75,6	71,4
Lluvias	1	1,51					
Simuladas	5	1,45			80,66	68,7	58,1
	10	1,41			82,64	71,1	66,1
Suelo decalcificado	10	1,32	100 +	15 560			
Av. Natural		1,57	60	20 510	80,78	73,1	74,7

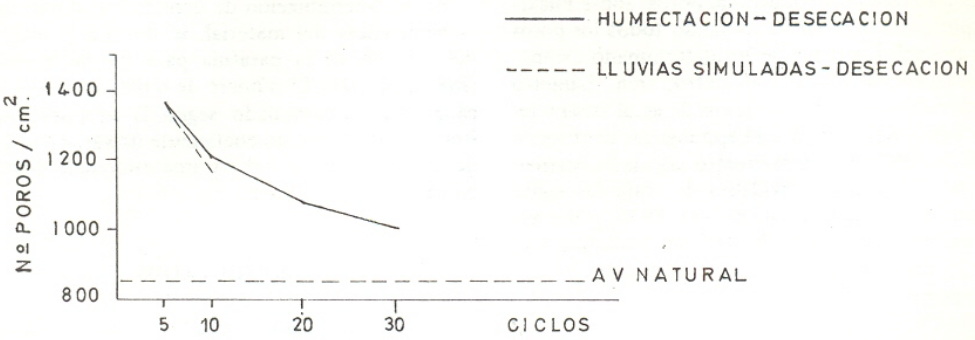

Fig. 1: Número de poros.

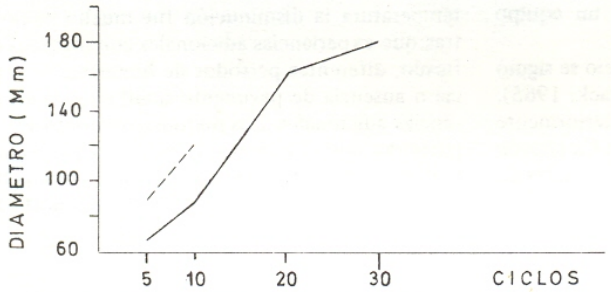

Fig. 2: Diámetro calculado promedio de las vesículas.

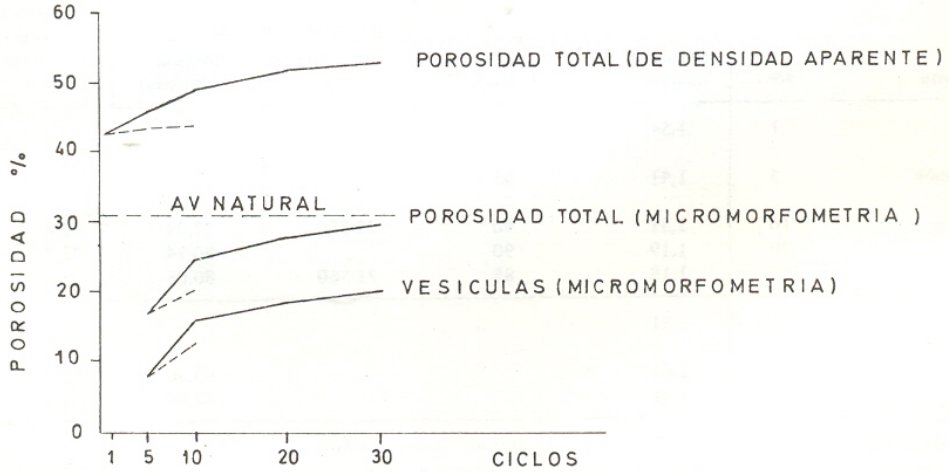

Fig. 3: Porosidad total calculada por densidad aparente y micromorfometría.

natural si se consideran constantes sus valores. Al reducirse el número de poros observables se incrementa el diametro de las vesículas. Estas aumentan en volumen en forma absoluta y proporcionalmente a la porosidad total tanto en número como en espacio ocupado. La razón de forma lobulada no indica ninguna tendencia si se toma la media de todas la vesículas. Por el contrario, sigue una curva ascendente si se consideran aquellas con diámetro mayor de 100 µm ya que se elimina la influencia de las vesículas más pequeñas, que a la escala de observación son (casi) circulares).

La micromorfología del material tratado no presenta diferencias en las características de la matriz. La evolución de la microestructura fisurada (laminar) y vesicular es clara. Los poros planos horizontales son formados aparentemente a partir de vesículas interconectadas. Los revestimientos en el fondo de las vesículas están mejor expresados en las muestras expuestas a lluvias simuladas (Fig. 4). Algunas vesículas presentan la parte superior de la pared en forma de una película levantada sobre el nivel de la superficie, como una burbuja de gas a punto de estallar, hecho que fue observado durante las experiencias. Cabe aclarar que la macroestructura observada evoluciona en correspondencia con los cambio señalados.

La influencia sobre la estructuración esta indicada por la evolución de la estabilidad de agregados (disminuye el índice), mientras que la superficie específica se mantiene casi constante. Los valores del material decalcificado muestran la influencia del carbonato de calcio sobre estas propiedades. La tasa de difusión de oxígeno presentó grandes variaciones, dependientes mas del contenido de humedad que de los ciclos, siendo baja solo para el primero de ellos y aumentando rápidamente después.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La estructura vesicular es parcialmente recompuesta después de 5 ciclos de humectación o lluvias simuladas y desecación, tendiendo a recuperar sus propiedades después de 20-30 ciclos. Junto a la porosidad total aumenta el tamaño de las vesículas, que ascienden al sobrepasarse el límite plástico superior y aumentan su esfericidad hasta interconectarse.

La formación de vesículas es un proceso que necesita aire encerrado o lenta difusión y un subsecuente incremento rápido de temperatura para producir un aumento de volumen del gas en cada poro. Las fisuras aparecen en planos de fractura determinados por las vesículas como consecuencia del gradiente de temperatura y humedad normal a la superficie, dando lugar a la estructura laminar. Las paredes de las vesículas superiores están afectadas por una microerosión asociada a un frente descendente de agua, quedando el depósito en el fondo de los poros en forma orientada.

A pesar de que el pavimento de desierto contribuye al encierro del aire durante las precipitaciones no se lo considera un factor determinante de la formación de las vesículas. El carbonato de calcio no es por sí mismo formador de esta estructura aunque puede contribuir a su estabilidad. El tamaño de las partículas (limos, arenas, carbonatos en la masa) parecen ser propiedades internas determinantes.

Aplicando estos conceptos a las condiciones de campo puede concluirse que:

a) El horizonte Av se desarrolla en el suelo descripto porque los factores antes mencionados coinciden en la formación de vesículas y estructura laminar. Por el tipo de clima es común que ocurran lluvias que saturen el suelo encerrando aire, secándose rápidamente después con aumento brusco de temperatura.

b) No se forman vesículas en el suelo disturbado por macrofauna porque estando sobre altos relativos, con pediente convexa, el agua escurre por superficie y el encierro de aire por saturación de la matriz no se cumple efectivamente. Debido al rápido regeneramiento de la estructura en laboratorio no se atribuye la causa de su ausencia a la acción de los animales, los cuales buscsrían esas zonas más altas como hábito para impedir la inundación de sus cuevas.

c) Tampoco se forman poros vesiculares ni estructura laminar en las partes bajas, sin pavimento de desierto porque el agua se mantiene en superficie impidiendo la expansión rápida del aire por aumento de temperatura antes de que éste difunda a la atmósfera.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de profesores del I.T.C. (Universidad Estatal de Gante, Bélgica) por la oportunidad de realizar las investigaciones y por sus valiosas discusiones.

Al Prof. J. Irisarri (Universidad Nac. del Comahue) por sus comentarios y apoyo.

ANEXO

DESCRIPCION DE CAMPO

El perfil estudiado se halla a 2 km al Sur del Lago Pellegrini, desarrollado sobre una meseta con abundancia de grava en el perfil, donde se han formado horizontes ócrico, nátrico, cálcico, gípsico y petrogípsico, por lo que se clasifica como Natrargid típico (fase petrogípsica).
Relieve: plano.
Pendiente: 0,1 por ciento.
Clase natural de drenaje: moderadamente bien drenado.
Vegetación: estepa arbustiva de *Larrea spp.* y *Atriplex spp.*

Pavimento de desierto	1- 0 cm	Fragmentos de rocas volcánicas tamaño grava mediana, redondeados y barnizados; cobertura: 90 por ciento.
Av	0- 2 cm	Gris rojizo oscuro (5 YR 4/2) y pardo rojizo claro (5 YR 6/3); franco arcillo arenoso, ligeramente guijarroso; ligeramente duro, friable, plástico y adhesivo; vesículas muy finas a medias; calcáreo; abrupto y suave.
B2tca	2-10 cm	Pardo rojizo (5 YR 5/4) y pardo rojizo claro (5 YR 6/4); franco arcillo arenoso, guijarroso; bloques angulares medios a gruesos moderados; duro, friable, plástico y adhesivo; cutanes continuos sobre caras de agregados; poros vesiculares muy finos a medios, más abundantes en los 3 cm superiores y poros intersticiales finos; nódulos irregulares blandos de material enriquecido en calcita, gris rosado (5 YR 7/2), diámetro: + 5 cm; calcáreo, pocas raíces medias; claro y suave.
B3ca	10-26 cm	Pardo rojizo (5 YR 5/4) y rosado (5 YR 7/4); franco arcillo arenoso, guijarroso; bloques subangulares finos a medios débiles; ligeramente duro, friable, ligeramente plástico y adhesivo; cutanes discontinuos sobre caras de agregados; poros intersticiales finos; fuertemente calcáreo; pocas raíces medias; claro y suave.
C1ca	26-47 cm	Rosado (5 YR 7/4) y rosado (5 YR 8/3); franco arenoso, guijarroso; grano suelto; suelto, friable, no plástico y no adhesivo; fuertemente calcáreo; muy pocas raíces medias; abrupto y suave.
C2cs	47-76 cm	Rosado (5 YR 7/4) y rosado (5 YR 8/3); franco arenoso, guijarroso; masivo; duro, firme, no plástico y no adhesivo; calcáreo; abrupto y suave.
C3csm	76 + cm	Horizonte petrogípsico; no colapsa en agua; matriz cementada incluyendo tamaño grava.

DATOS ANALITICOS DEL PERFIL

Horizonte	Profundidad (cm)	Granulometría <2 µm	2-50 µm	50-2000 µm	pH 1:2,5	Resist. Ω	$CaCO_3$ %	Yeso %	C org. %	C.I C. $cmol_c kg^{-1}$	RAS
Av	0-2	21,4	17,8	60,8	8,4	260	3,0	–	0,29	21,4	47
B2tca	2-10	33,2	17,4	49,4	8,6	240	4,8	–	0,29	28,6	35
B3ca	10-26	23,6	17,2	59,2	7,8	140	12,2	2,1	0,29	22,9	35
C1ca	26-47	13,4	14,0	72,6	7,8	390	18,9	8,8	0,26	30,7	30
C2cs	47-76	9,4	12,3	78,3	7,7	680	8,1	34,8	0,15	14,8	23

Determinaciones realizadas según Black (1965).

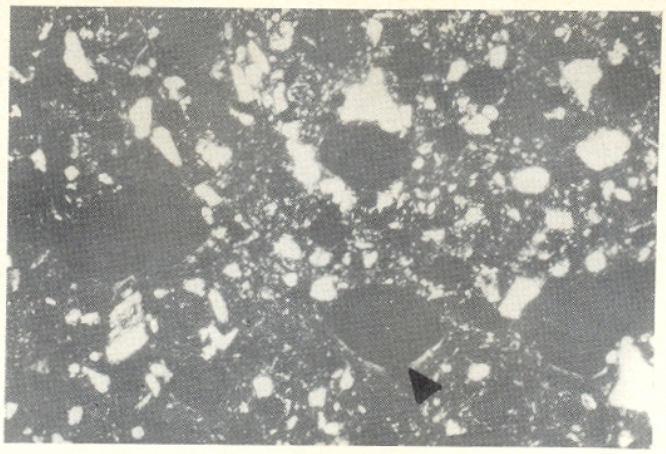

Fig. 4: Vesículas formadas después de 10 lluvias simuladas. La flecha señala un revestimiento birrefringente orientado. Luz polarizada.

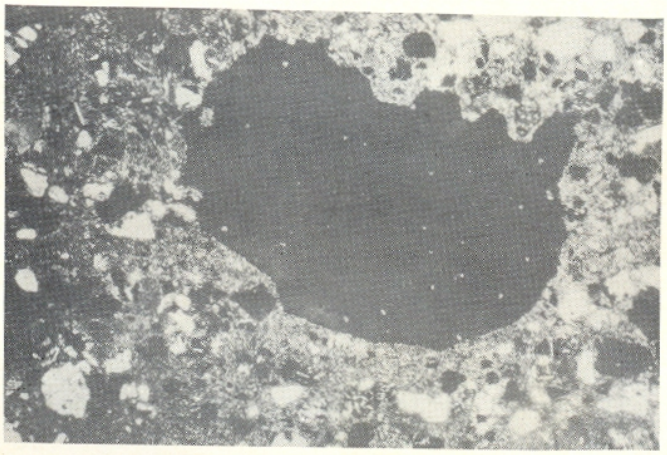

Fig. 5: Detalle de una vesícula. Nótese la pared rugosa en la parte superior. Luz polarizada.

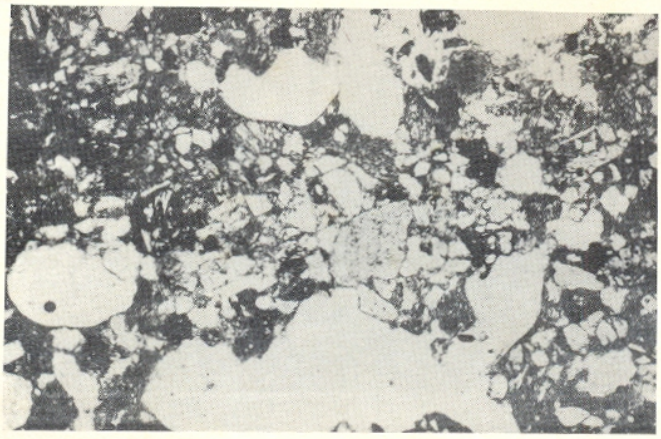

Fig. 6: Horizonte Av, vesículas interconectadas. Lámina delgada, luz natural.

PRESENCIA DEL HORIZONTE VESICULAR

El horizonte Av se encuentra en situaciones donde el pavimento de desierto no está disturbado y donde el relieve general plano tiene una pendiente mínima que impide la acumulación de agua en superficie. Desaparece en dos situaciones distintas: partes altas, donde la pendiente es ligeramente convexa, coincidiendo con pavimento disturbado por macrofauna (pendantes de calcita orientados al azar y presencia de krotovinas) y en superficies más bajas, cóncavas, donde el agua se acumula en superficie después de las lluvias; allí desaparece el pavimento y el horizonte superficial es masivo. La variabilidad ocurre en unos metros a unos cientos de metros.

Particularmente, se cavó una trinchera de 7 m de largo, de manera de abarcar las situaciones en que aparece y desaparece el horizonte Av.

MICROMORFOLOGIA DEL HORIZONTE Av

Microestructura y Patrón de Porosidad

(1) Microestructura fisurada apedal (laminar).

- Cavidades alargadas de paredes rugosas (similares a fisuras), paralelas a la superficie. Megaporos finos y medios (0,5 – 5 mm en la menor dimensión, 20-30 mm en la mayor).
- Fisuras paralelas a la superficie. Algunas parecen ser parcialmente artificiales.

(2) Microestructura vesicular. Observada en un segundo nivel de organización, en las zonas parcialmente limitadas por los poros que determinan la microestructura laminar.

- Vesicular aisladas. Macroporos finos y gruesos (alrededor de 50 µm) a megaporos medios (2,5 mm). No se observan menore de 30 µm. De paredes lisas, excepto algunas cercanas a la superficie que presentan paredes rugosas en la parte superior del perímetro y carecen de simetría radial, tomando una forma típica, subsimétrica respecto de un eje principal. (Fig. 5)
- Vesículas interconectadas, de paredes lisas y rugosas en la misma forma que las anteriores. La conexión es normalmente paralela a la superficie. (Fig. 6)
- Cavidades de paredes rugosas. De igual tamaño que las vesículas y de formas intermedias entre cavidades irregulares y vesículas interconectadas.

Matriz: material grueso (>10 µm)

- Cuarzo: clastos subangulares frecuentes; limo a arena gruesa.
- Plagioclasas: clastos subangulares alargados comunes; arena fina y media.
- Fragmentos de rocas: clastos redondeados frecuentes; arena fina a gruesa y grava fina; agregados de cuarzo y rocas volcánicas.
- Vidrios volcánicos: clastos de caras cóncavas comunes; arena media y gruesa; con vesículas internas, colores verdosos claros; algunos devitrificados a opacos.
- Piroxenos: clastos subangulares de augita e hipersteno frecuentes; arena fina y media; frescos.
- Opacos: clastos redondeados frecuentes; limo a arena media.
- Biotita: escamas angulares alargadas raras; arena media; frescas o débilmente alteradas.
- Hornblenda: clastos redondeados frescos raros; arena fina.

Matriz: material fino (<10 µm)

(1) Arcilla + calcita amarillo-rojiza. El color es muy variable en cortas distancias, amarillo o rojo. Punteada (puntos oscuros sobre fondo del color indicado). Fábrica-b cristalítica.

- Distribución relacionada grueso/fino (g/f): porfírica de espacio simple; en partes con carácter quitónico: cuando parte de las paredes rugosas de poros están formadas por partículas tamaño arena, éstas están cubiertas por una fina película (10-50 µm) de material fino.
- Relación g/f: 1/1-1/5; muy variable.

(2) Algunas partes presentan arcilla + calcita pardo-rojiza, más roja que (1). La birrefringencia es más alta y la distribución relacionada g/f es porfírica de doble espacio a abierta.

Rasgos Pedológicos

- Pápulas: frecuentes; arcilla pardo-rojiza, punteada aunque más límpida y roja que el material fino que las rodea (menos impregnadas con calcita fina). Pleocroísmo acentuado. Orientación marcada y continua. Los colores de interferencia pertenecen a primero y segundo orden, indicando minerales de arcilla de retículo 2/1. Se presentan como cuerpos redondeados, no relacionados a poros sino dentro de la matriz. Parecen ser cutanes quebrados y retrabajados; su contextura interna es muy similar a los argilanes del horizonte subyacente. Pápulas alargadas exhiben diferentes orientaciones, i.e. la línea negra bajo nicoles cruzados se mueve a lo largo o a través. Son generalmente mayores de 100 µm y están distribuídas irregularmente, decreciendo hacia la superficie.
- Neocalcitanes: ocasionales; gruesos neocutanes (200 µm) alrededor de partículas tamaño arena.
- Nódulos: raros; glébulas de óxidos de hierro, de límite neto; alrededor de 500 µm de diámetro. Producto de alteración de vidrios volcánicos.
- Revestimientos en el fondo de grandes vesículas cercanas a la superficie, siempre asociados a la forma típica antes mencionada. Presentan orientación contínua y se distinguen de los argilanes y pápulas, con luz natural, por tener las mismas características internas que el material fino de la matriz. Fábrica-b porofibrosa se desestima por la relación estrecha con la forma de las vesículas y la posición de los revestimientos.
- En las paredes de los poros se observa un borde birrefringente que fue atribuído a un efecto óptico de la matriz y no a la presencia de cutanes. El material fino cristalítico, cuando forma un borde en cuña aumenta su birrefringencia. Cuidadosas observaciones con luz natural y polarizada, con aumentos 4 x 10 a 40 x 10 muestran que existe continuidad con la matriz. Evenary et al. (1974) describen un fenómeno muy similar como precipitaciones de carbonato de calcio.

Transición Av-B2tca

Esta transición puede determinarse en base a la microestructura y patrón de porosidad. En corta distancia la estructura laminar del Av es reemplazada por la articulada regular del B2tca. Las vesículas grandes son menos abundantes en este último. Los rasgos de iluviación de arcilla, nunca relacionados a poros en el Av, están claramente asociados a éstos sólo por debajo de la transición del patrón de porosidad. Los argilanes del horizonte B son gruesos (hasta 1 mm de espesor) y formados por bandas punteadas y límpidas (con más y menos calcita respectivamente). La composición general de la matriz parece no cambiar de un horizonte a otro.

REFERENCIAS

Beckmann, W., 1962. Zur Mikromorphometrie von Hohlräumen und Aggregaten im Boden. Zeitschr. Pflanzenernähr. Dung Dodenk. 99:129-139.

Black, C. A., (editor), 1965. Methods of Soil Analysis, I and II. Amer. Soc. Agron. Inc., Wisconsin, USA. 1572 pp.

Brewer, R., 1976. Fabric and Mineral Analysis of Soils. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York. 482 p.

De Boodt, M., 1959. Number of soil sample replications needed in soil structure research. Meded. Landbouwhogeschl. Opzoekstns., Gent. XXIV: 267-276.

De Boodt, M y L. De Leenheer, 1958. Proposition pour l'evaluation de la stabilité des agregats sur le terrain. Meded. Landbouwhogeschl. Opzoekstns., Gent. XXIV: 234-242.

Evenary, M.; D. H. Yaalon y Y. Gutterman, 1974. Note of soils with vesicular structure in deserts. Geomorph. N. F. 18: 162-172.

Ferrer, J. A., 1978. Estudio de suelos en la Cuenca del Río Santa Cruz. VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires.

Ferrer, J. A.; D. Gentilini; O. Duymovich; P. Imbellone; J. Schwindt y M. Hurtado, 1978. Suelos de la Cuenca del Río Santa Cruz, Convenio INCYTH - U. N. La Plata. En prensa, INTA, Buenos Aires.

Gabriels, D.; M. de Boodt y W. Minjauw, 1973. Description of a Rainfall simulator for Soil Erosion Studies. Meded. Landbouwwet., Gent, XXXVIII: 294-301.

Imbellone, P y J. Ferrer, 1980. Naturaleza de los materiales constituyentes de Haplargides y Paleargides de la Cuenca del Río Santa Cruz. IX Reunión Arg. de la Ciencia del Suelo: 941-953. Paraná.

Jongerius, A. y G. K. Rutherford, (editors), 1979. Glossary of Soil Micromorphology. Wageningen, Centre of Agricultural Publishing and Documentation. 138 p.

Laya, H.; R. Angulo y N. Balmaceda, 1979. Reconocimiento de los suelos en áreas de secano en el Noreste de la Patagonia. Departamento Alsina, Río Negro. Serie Estudios y Documentos Nº 6, Centro de Investigaciones Científicas y Dirección de Bosques y Praderas, Río Negro.

Laya, H., 1980. Clasificación hidrológica de los suelos, vegetación y determinación de los valores de CN. Cuencas al Norte del Valle Medio y Superior del Río Negro. Depto. Provincial de Aguas, Río Negro y Centro Regional Andino, INCYTH.

Letey, J. y L. H. Stolzy, 1964. Measurement of Oxygen Diffusion Rates with the Platinum Microelectrode. Parte I: Theory and Equipment. Hilgardia 35, 545-576.

Miller, D. E., 1971. Formation of Vesicular Structure in Soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 635-637.

Paletskaya, L. N.; A. P. Lavrov y SH. I. Kogan, 1958. Pore Formation in Takyr Crust. Soviet Soil Sci. 3: 245-250.

Papadakis, J. y P. Etchevehere, 1962. Breve Reseña sobre los Suelos de Santa Cruz. Inédito, INTA, Buenos Aires.

Springer, M. E., 1958. Desert Pavement and Vesicular Layer of Some Soils of the Desert of Lahontan Basin, Nevada. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22: 63-66.

Stoops, G., 1978. Provisional Notes of Micromorphology. Rijksuniversiteit Gent, Geologisch Instituut, I. T. C., Gent.

Valentin, C., 1981. Organisations Pelliculaires Superficielles de quelques Sols de Region Subdésertique (Agadez-République du Niger). Thèse, Université de Paris VII. 258 pp.

Verheye, W., 1981. Bodemmilieu en Bodemvorming in Aride en Sub-Aride Zones. Aggregation Thesis, State University of Ghent. 397 p.

Yaalon, D. H., 1974. Note of some geomorphic effects of temperature changes on desert surfaces. Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd 21: 29-34.