

## PROPIEDADES MICROMORFOLOGICAS DEL SUELO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN UN AMBIENTE PEDEMONTANO ARIDO DE PATAGONIA, ARGENTINA

P J BOUZA, H F DEL VALLE

Centro Nacional Patagónico, CONICET. Boulevard Brown s/n, C.C. 128 - (9120) Puerto Madryn, Chubut - Argentina.  
E-mail: bouza@cenpat.edu.ar

### MICROMORPHOLOGICAL PROPERTIES OF SURFACE AND SUBSURFACE SOIL IN AN ARID PIEDMONT ENVIRONMENT OF PATAGONIA, ARGENTINA

The objectives of this paper were: 1) to establish a classification system of crusts and layers, based on micromorphology and genesis, and 2) to determine the pedological modifications in the presence of the progressive soil degradation processes. The study site is located in a shrubby steppe of northeastern Chubut (Argentina). The microtopographical pattern are represented by mounds beneath shrub clumps and areas of desert pavements. Taking into account to morphological properties, the surface layers were classified in four superficial soil condition classes. The classes represent a degradational sequence from better edaphic conditions (class 1) to desert pavement development (class 4). In these microsites, three morphological types of surface crusts and layers were identified, including 1) single grain layers (class 1), 2) run off sedimentational crusts (class 2) and 3) structural vesicular crusts (classes 3 and 4). Moreover the Bt and Btk horizons were studied. On the upper boundary, these horizons present physical degradation and water erosion evidences and should relate to past wetter climates under which the soil formed. The decrease of the iluviation process are evidenced by: 1) discontinuous clay coating on voids walls, and 2) fragmented clay coating in the micromass with crystallitic b-fabric due to micrite intergrowths. The physical degradation was evidenced by dominate vughy microstructure created by disconnection of packing pores due to settling and compaction.

**Key words:** Micromorphology-Surface crusts and layers-Argillic horizons-Patagonia

### INTRODUCCION

En los ecosistemas áridos y semiáridos, el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo ha sido utilizado para evaluar las condiciones superficiales de los pastizales naturales (Smith 1979). La caracterización de dichas condiciones se basa generalmente en la identificación de atributos morfológicos fácilmente reconocibles en el campo. El patrón de distribución de las distintas categorías sugiere una secuencia espacial de deterioro edáfico (Greene, Tongway 1989). Por otro lado el estudio micromorfológico en estos micrositios, ha llevado a la identificación de distintos tipos de capas y costras, estableciendo un sistema de clasificación en base a sus componentes y a su morfología (Mücher *et al.* 1988). Valentín y Bresson (1992), encontraron básicamente tres grupos principales de costras, diferenciados morfológicamente y denominados de acuerdo con su proceso formador dominante. Los grupos mencionados se denominan: costras estructurales, costras depositacionales y costras erosionales. Las costras estructurales se forman por la desagregación del suelo superficial, donde las partículas de suelo son reordenadas *in situ*, sin

evidencias de un movimiento lateral. Un tipo particular de costra estructural es denominada costra de pavimento grueso (coarse pavement crust) y está asociada a pavimentos de desierto. Este tipo de costra es comparable con el horizonte vesicular (Av) descrito por Springer (1958). Las costras depositacionales en cambio son formadas por la translocación de partículas y su posterior depositación a cierta distancia.

En la Patagonia Exrandina, Figueira (1984) describió la macro y micromorfología de un horizonte vesicular, donde ha incluido para su análisis técnicas micromorfométricas y ensayos de lluvias simuladas. En el área aquí tratada, la definición de clases de condiciones superficiales edáficas y la evolución de pavimentos de desierto fueron establecidas por Bouza y del Valle (1997). Estudios micromorfológicos de horizontes Av en el área de estudio, se cuenta con el trabajo realizado por Bouza *et al.* (1993).

El objetivo del presente trabajo es caracterizar micromorfológicamente la superficie edáfica en distintas clases de condiciones superficiales y establecer: 1) una clasificación morfogenética de capas y costras y 2) las posibles modificaciones pedológicas ante un avance de los procesos de degradación del suelo.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la comarca denominada El Bajo de la Suerte, ubicada a 90 km al oeste de la ciudad de Puerto Madryn, Provincia del Chubut, Argentina (Figura 1). La unidad geomorfológica corresponde a un sector representativo de la parte distal de la llanura aluvial de pie de monte, proveniente de las serranías ubicadas al norte del área de estudio. En este sector los suelos comprenden un complejo de Natrargides Típicos y Haplargides Típicos y Arénicos. Debido a la dinámica superficial los suelos pueden encontrarse exhumados o enterrados (Súnico *et al.* 1996). La secuencia de horizontes que comprenden dichos suelos son de tipo A-Av-2Btl-3BC-4Cn-5Cn-6Cn y C-2Btb-2Btkb-3Btkb1-3Btkb2-4Chy-5Cky respectivamente.

La vegetación corresponde a una estepa arbustiva herbácea que cubre entre el 20 y el 60 % de la superficie. El patrón de distribución de la vegetación está remarcado por el microrelieve, constituido por montículos asociados a la vegetación arbustiva, que alternan con áreas de escasa vegetación. En estos interespacios se desarrollan pavimentos de desierto asociados a horizontes vesiculares (Av). Según Bouza y del Valle (1997), en el sistema montículo-entremontículo se presentan al menos cuatro clases de condiciones superficiales, desde superficies con suelo intacto, denominadas clase 1 (montículo), hasta superficies con extrema degradación o de clase 4 (entremontículo).

El clima en la zona es templado árido. La precipitación media anual es de 149 mm y la temperatura media anual es de 12,8 °C, siendo la del mes de enero de 20,3 °C y la del mes de julio de 5,2 °C (De Fina *et al.*, 1968). Los suelos en el área de estudio, como los de la mayor parte de la Patagonia árida y semiárida, son utilizados para el pastoreo ovino.

### Análisis meso-micromorfológico

En los micrositios más representativos de las clases 1 a 4 de condiciones superficiales, se extrajeron muestras sin perturbar en bandejas y en cajas de Kubiena. El

muestreo se efectuó hasta los 10 cm de profundidad, incluyendo parte de los horizontes Bt y Btk. Las muestras fueron secadas al aire e impregnadas por capilaridad con resinas poliéster (GRU, GELC-O-FLEX) o al vacío con resina epoxi de tipo Araldit de Ciba Geigy (resina GY 257 y endurecedor HY 2996). Se realizaron secciones delgadas perpendiculares a la superficie del suelo de 7 cm por 5 cm y de 4,8 cm por 2,4 cm. El análisis mesomorfológico se realizó con lupa binocular en bloques impregnados y pulidos, mientras que el micromorfológico se efectuó con microscopio de luz transmitida. La descripción de las secciones delgadas, se efectuó siguiendo la propuesta de Bullock *et al.* (1985).

## RESULTADOS

La Tabla 1 muestra las principales características mesomorfológicas en las distintas clases de condiciones superficiales. En cada uno de estos micrositios se diferencian en profundidad áreas con propiedades morfológicas homogéneas. En la escala de observación microscópica y en base a la Tabla 1, la superficie del suelo es clasificada en las siguientes capas y costras: 1) capas masivas de grano suelto (Figura 2), 2) costras sedimentarias por escurrimiento superficial (Figura 3) y 3) costras estructurales vesiculares (Figura 4). La Tabla 2 resume las propiedades micromorfológicas más importantes, incluyendo la de los horizontes Bt y Btk que subyacen a las capas y costras mencionadas.

Las capas masivas de grano suelto corresponde a la zona superior del área de montículo (clase 1). Las costras sedimentarias por escurrimiento superficial se observan

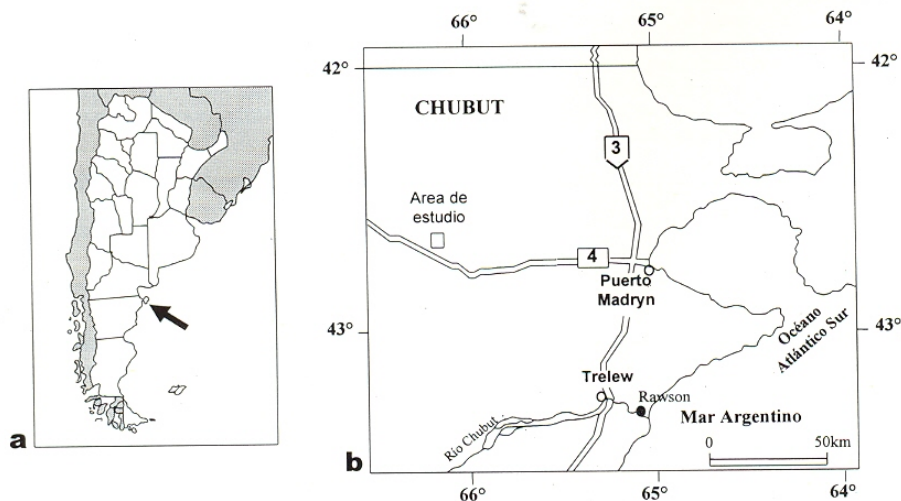


Figura 1. Ubicación del área de estudio



Tabla 1. Características mesomorfológicas de las clases de condiciones superficiales

Clase	Posición micro-topográfica	Descripción
1	Montículo	<p>Zona superior, montículo. 0-4 cm; color en seco castaño y castaño pálido (10 YR 5/3 y 6/3); textura arenosa; estructura masiva (los granos minerales se disponen según una distribución al azar y en parte paralela a la superficie mal definida); consistencia suelta; abundante mantillo, poros intersticiales abundantes; límite abrupto y ondulado</p> <p>Zona intermedia, horizonte Av. 4-4,3 cm; color en seco castaño pálido y castaño muy pálido (10 YR 6/3, 7/3); poros vesiculares finos frecuentes; límite abrupto y ondulado</p> <p>Zona inferior, parte superior del horizonte 2Bt. &gt;4,3 cm; color en seco castaño claro (7,5 YR 6/4) a castaño rojizo claro (5 YR 6/4); textura franco arcillo arenoso, estructura en bloques subangulares medios a finos; consistencia friable; presencia de gravas en su límite superior; huecos planos abundantes (fisuras) subverticales, rectos o curvados alrededor de gravas, con relleno de material proveniente de las capas superiores (este material también se encuentra incorporado a la matriz del suelo en forma diseminada o agrupada), poros tubulares escasos.</p>
2	Borde de montículo	<p>Costras sedimentarias por escurrimiento superficial. 0-1 cm; color en seco castaño pálido (10 YR 6/3); textura arenosa; estructura laminar gruesa débil; consistencia blanda; huecos planos subhorizontales entre microcapas; límite abrupto y ondulado</p> <p>Horizonte Av. 1-2 cm; color en seco gris claro a castaño pálido (10 YR 7/2, 5/3 y 6/3); textura franca; consistencia dura; estructura laminar gruesa moderada a fuerte; poros vesiculares abundantes.</p> <p>Parte superior del horizonte 2Bt. &gt; 2 cm; color en seco castaño claro (7,5 YR 6/4); a castaño rojizo claro (5 YR 6/4); textura franco arcillo arenoso, estructura en bloques subangulares medios a finos. En la escala micromorfológica se observan cambios estructurales: 1) compleja, en cámaras, canales y fisuras; 2) en cavidades dominante y 3) granular; huecos planos subverticales y curvados alrededor y por debajo de las gravas, con relleno de material arenoso proveniente de las capas superiores</p>
3 y 4	Pavimento de desierto	<p>Horizonte Av, parte superior. 0-0,5 cm; color en seco gris claro a castaño pálido (10 YR 7/2, 5/3 y 6/3); textura franca; consistencia moderada a dura; estructura: laminar gruesa moderada a fuerte; poros vesiculares abundantes, equidimensionales y mamelonados finos y medios; presencia de gravas en superficie; límite abrupto y suave (se observa un plano de debilidad entre la parte superior y la inferior del Av). En superficie la arcilla sella el suelo en los espacios entre gravas y arena muy gruesa del pavimento de desierto.</p> <p>Horizonte Av, parte inferior. 0,5-2 cm; color en seco castaño grisáceo oscuro (10 YR 4/2); textura franco arcillosa; estructura masiva a laminar mal definida; consistencia dura; poros vesiculares abundantes muy finos y finos (se disponen paralelos a la superficie), límite abrupto y ondulado, subyace el horizonte 2Bt.</p>

preferentemente hacia el borde de los montículos (clase 2) y se caracterizan por presentar los componentes minerales gruesos una fábrica bandeada paralela a la superficie. Las costras estructurales vesiculares corresponden a los horizontes Av desarrollados en el pavimento de desierto y su principal indicador es la presencia de poros vesiculares dominantes. Los horizontes Av pueden subyacer a las capas masivas de grano suelto y a las

costras sedimentarias por escurrimiento superficial. En estos casos el horizonte Av no supera los 0,5 cm de espesor, no se diferencia morfológicamente en profundidad y el tamaño máximo de las vesículas no supera los 700  $\mu\text{m}$ .

Meso y micromorfológicamente el horizonte Bt presenta una diferenciación vertical de la estructura, como ser: 1) en cámaras, canales, cavidades y fisuras (Figura



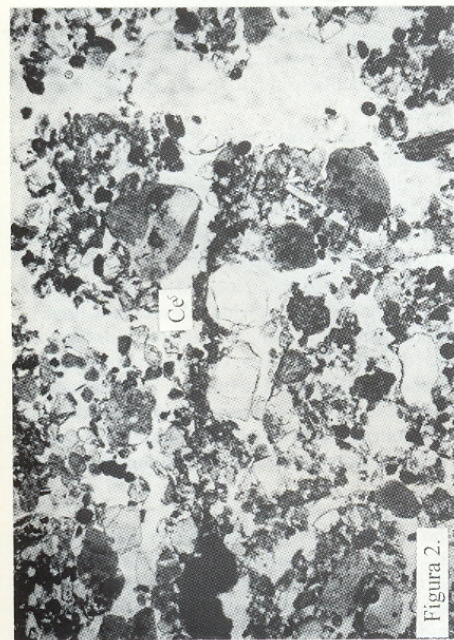


Figura 2.

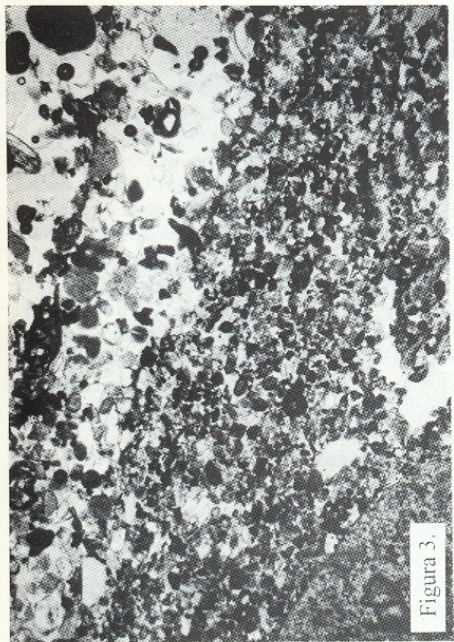


Figura 3.

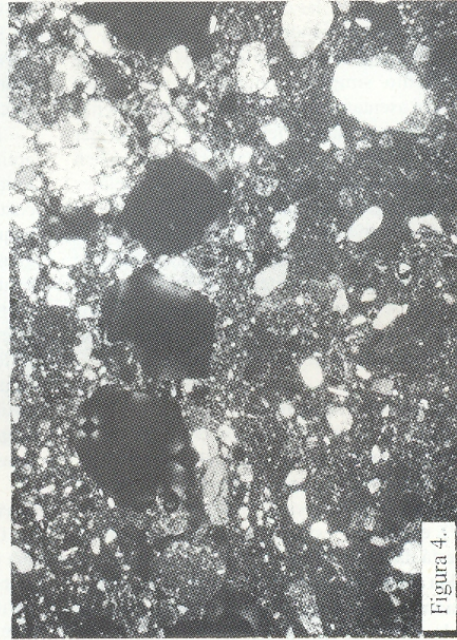


Figura 4.



Figura 5.

Figura 2. Microfotografía de la capa masiva de grano suelto. Ce: rasgos pedológicos texturales de tipo casquete enlazado. X 25, luz normal. Figura 3. Microfotografía de la costra sedimentaria por escurrimiento superficial, clase 2 de condición superficial. La estructura es de grano suelto y la fábrica del material grueso es bandeada paralela a la superficie bien definida. X 25, luz normal. Figura 4. Microfotografía de la costra estructural vesicular (horizonte Av). Estructura vesicular entre granos. Obsérvese el aumento del espacio poral por la coalescencia de vesículas equidimensionales. La fábrica-b del material fino es en motas aisladas. X 25, nicoles cruzados. Figura 5. Microfotografía de la parte superior del horizonte argílico (Bt). Estructura compleja en cámaras (Cm), canales (Cn), cavidades (Cv) y fisuras (F). X 25, luz normal.



5); 2) en cavidades y fisuras y 3) granular. Esta última se encuentra en contacto con el horizonte Btk de estructura en bloque angulares mal definidos y fisurada (Figura 6). En los huecos planos subverticales y curvos debajo de gravas (macroporos) y en canales de raíces, se observa material proveniente de las capas y costras que sobreyacen. Es común además que este material se encuentre incorporado a la masa basal en forma dispersa o agrupada. Una característica que presentan estas zonas de incorporación de material es la distribución relacionada g/f enáulica y quitónica que contrasta con la de tipo porfirica.

## DISCUSION

### Capas masivas de grano suelto

Dadas las características mineralógicas y texturales, las capas masivas de grano suelto (montículo) han sido formadas mayormente por la acumulación eólica (Súnico *et al.* 1996). La estructura de grano suelto determinada por las partículas de arena y la alta porosidad de empaquetamiento, explican la elevada tasa de infiltración (Bouza, del Valle 1997). El transporte mecánico de las partículas finas en el agua de percolación, es posiblemente el responsable de la formación de los recubrimientos en casquetes y en casquetes enlazados.

### Costras sedimentarias por escurrimiento superficial

En este tipo de costra, las cavidades irregulares con patrón de distribución bandeada a la superficie, se forman por la desconexión de algunos huecos de empaquetamiento simples y huecos planos entre microcapas, por asentamiento de la estructura. Si bien la tasa de infiltración sería suficiente como para formar revestimientos de arena muy fina y limos gruesos en casquetes enlazados, la entrada de agua en el suelo es afectada por la costra estructural que subyace. En base a la posición microtopográfica y a los signos de erosión observados (capas criptógamas en pedestal, descalce de arbustos y socavamiento), el material que compone este tipo de costra puede provenir de los bordes de los montículos ya sea por el lavado pluvial o bien por la erosión hídrica pendiente arriba de los mismos.

### Costras estructurales vesiculares

La estructura vesicular y vesicular entre granos se forma por entrapamiento del aire del suelo ante el colapso estructural y a la subsecuente desecación por incremento rápido de la temperatura. Según Bouza y del Valle (1997), el colapso estructural en los micrositos estudiados está dado por: 1) dispersión química de las arcillas debida al elevado valor de sodio intercambiable y 2) dispersión mecánica de las partículas dada por el impacto de las gotas de lluvia. Un tercer factor de la

pérdida de estabilidad de agregados, aunque poco significativo, es por sucesivos ciclos de congelamiento-descongelamiento.

Tanto el grado de desarrollo como las formas y evolución de las cavidades y vesículas están en relación con una secuencia temporal y espacial de deterioro. Según Ringrose-Voase y Bullock (1984), las cavidades se forman por la desconexión de los poros de empaquetamiento (poros estructurales) debido a procesos de asentamiento y compactación de la estructura. Ringrose-Voase (1991), mostró una secuencia de desarrollo de la estructura, donde la de tipo en cavidades indica un estado inicial de desconexión de los poros estructurales y por lo tanto un estado inicial de deterioro de la estructura. De acuerdo con esto y dada su posición microtopográfica y su consistencia friable, las costras estructurales de la clase 3, donde dominan las cavidades irregulares, representan un estado inicial de formación del horizonte vesicular.

La fábrica-b poroestriada alrededor de las vesículas es el resultado de un mayor grado de empaquetamiento de las partículas finas dada por la expansión del aire contra la masa basal y a la succión matricial del agua cuando comienza a secarse la superficie del suelo (Bouza *et al.* 1993). Las vesículas ascienden al sobrepasar el límite plástico superior y aumentan su esfericidad hasta interconectarse (Figura 3).

El patrón de distribución paralelo a la superficie de los huecos planos, es causado por el gradiente térmico y de humedad que se desarrolla en forma normal a la superficie (Figueira 1984). Esto, en la escala mesomorfológica, le confiere al horizonte vesicular una estructura laminar.

La presencia de escasos y delgados recubrimientos arcillosos, indica que la lluvia o el escurrimiento superficial es insuficiente para causar iluviación a través de la costra. La fábrica-b en motas aisladas -determinada por pequeños recubrimientos arcillosos fragmentados- sugiere también una iluviación parcial de las arcillas. Los recubrimientos arcillosos son luego destruidos por sucesivos ciclos de humedecimiento y desecación, proceso evidenciado por la presencia de rasgos pedológicos de fábrica de tipo slickensides. Un aporte adicional de recubrimientos arcillosos fracturados y deformados, posiblemente se deba al retransporte hídrico de dichos rasgos texturales desde los horizontes argílicos, cuando éstos son exhumados por escurrimiento superficial.

### Horizontes argílicos, Bt y Btk

Como se mencionó anteriormente la presencia de una estructura en cavidades podría estar relacionada a procesos de asentamiento y marcaría un cambio de la estructura original. En los horizontes Bt y Btk, dicho asentamiento o colapso estructural está relacionado con



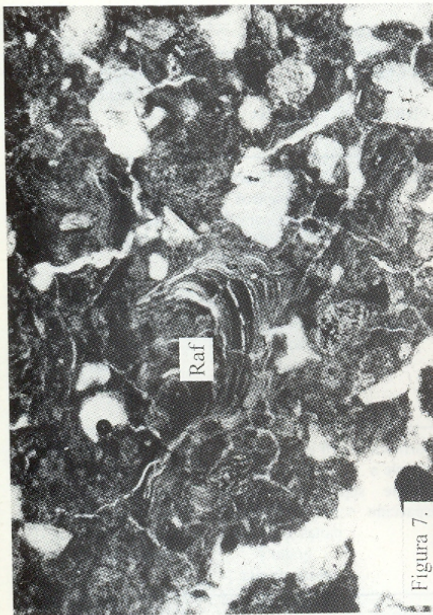


Figura 7.



Figura 6.

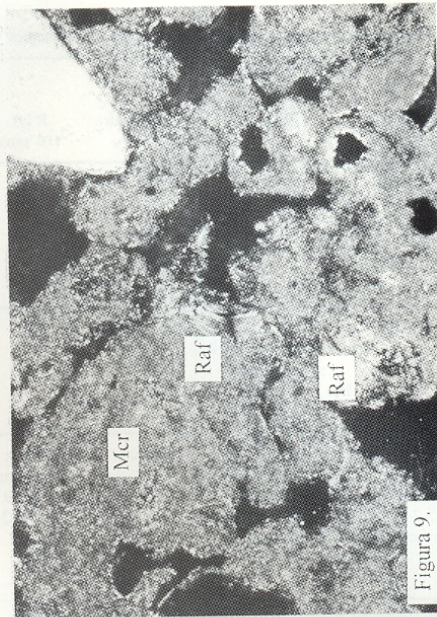


Figura 9.

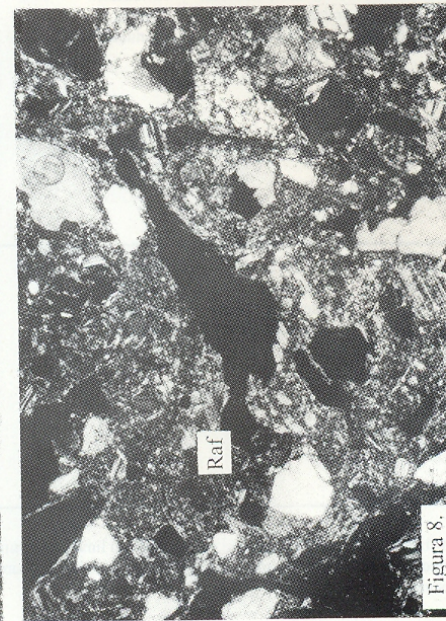


Figura 8.

Figura 6. Microfotografía del horizonte argílico con estructura granular (centro izquierdo de la foto) en contacto con el horizonte Btk de estructura en bloque angulares mal definidos y fisurada. La fábrica-b de la micromasa es en mosaicos y cristalítica (Mcr). X 25, nicoles cruzados. Figura 7. Microfotografía de la parte superior del horizonte argílico. Raf: recubrimiento arcilloso fragmentado con microfisuras a través o entre las microlaminaciones. X 63, luz normal. Figura 8. Microfotografía de la parte superior del horizonte argílico. Raf: recubrimientos arcillosos fragmentados (discontinuos) sobre las paredes de los huecos. X 63, nicoles cruzados. Figura 9. Microfotografía del horizonte Btk. Raf: recubrimientos arcillosos fragmentados sobre las paredes de los poros. Nótese que estos rasgos texturales se encuentran engolfados por calcita micritica autigénica (rasgos pedológicos calcíticos) o incorporados en la micromasa con fábrica-b cristalítica (Mcr). X 160, nicoles cruzados.



Tabla 2. Propiedades micromorfológicas de las capas y costras superficiales y de los horizontes Bt y Btk

Tipo morfológico	Microestructura			Masa basal			Rasgos pedológicos
	Pedralidad	Huecos	Estructura	R g/f (10 µm)	PDR g/f (10 µm)	Fábricas	
Capas masivas de grano suelto	Apedal	50 %. PD: al azar Hes, +, +, +, C, +, +, Cv, +, +, Hpl, +, +	Grano suelto	95:5	Mónica	> 10 µm: al azar dominante a bandeada paralela a la superficie. < 10 µm: Fábrica-b en motas aisladas	Recubrimientos en casquete y en casquetes enlazados +
Costras sedimentarias por escurrimiento superficial	Apedal	50 %. PD: bandeada paralela a la superficie. Hes, +, +, +, +, Cv, +, +, +, Hpl +, +	Grano suelto	98:2	Mónica	> 10 µm: al azar y bandeada paralela a la superficie < 10 µm: Fábrica-b en motas aisladas	Recubrimientos en casquete y en casquetes enlazados +
Costras estructurales vesiculares	Apedal de 0-0,5 cm. Débil de 0,5-2 cm de profundidad.	40 % de 0-0,5 cm y 25 % de 0,5-2 cm de profundidad. PD: bandeado paralelo a la superficie V +, +, +, +, Cv +, +, +, +, Hpl +, +	vesicular a vesicular entre granos (clase 4) y en cavidades (clase 3)	50:50 de 0-0,5 cm y 20:80 de 0,5-2 cm de prof.	Porfírica simple a doble espaciado	> 10 µm: al azar y bandeada a la superficie poco defin. < 10 µm: Fábrica-b: motas aisladas, grano y poroestriada	Recubrimientos arcillosos delgados, en huecos y granos esqueléticos + Slickenside +
Horizonte Bt	Moderada a buena	20 % a 40 %. PD: al azar, bandeada paralela a la superficie y vertical Cv +, +, +, Hpl +, +, +, +, Hec +, +, C +, Ca +	Compleja: en cavidades, fisurada y granular	20:80 a 5:95	Porfírica, enáulica y quitónica	> 10 µm: al azar y bandeada paralela a la superficie (material introducido en hpl) < 10 µm: Fábrica-b grano y poroestriada, en motas aisladas y monoestriada	Recubrimientos arcillosos fragmentados +, +, +, en la micromasa o sobre pared de huecos Recubrimientos arcillosos compuestos +, + Nódulos impregnativos de óxidos de hierro +, + Slickenside +, +
Horizonte Btk	Moderada a buena	20 %. PD: al azar y bandeada paralela a la superficie Hpl +, +, +, +, Hec +, +, Cv +, +, C +, +	Compleja: en cavidades, fisurada y granular	20:80	Porfírica y enáulica	> 10 µm: al azar < 10 µm: Fábrica-b cristalítica, en motas aisladas, grano y poroestriada	Recubrimientos arcillosos fragmentados +, +, + Nódulos impregnativos de óxidos de hierro +, + Recubrimientos calcíticos +, + Intercrecimiento de calcita. +, +, +

PD, patrón de distribución; R g/f 10 µm: relación grueso/fino con límite en 10 µm; Hes. Huecos: Hes, de empaquetamiento simple; Hec, de empaquetamiento compuesto; Hpl, planos; Cv, cavidades; C, canales; Ca, cámaras; V, vesículas. Frecuencia: +, +, +, +, dominante; +, +, +, común; +, +, frecuente; +, escaso.

la dispersión de las arcillas debido al alto valor de PSI (Bouza, del Valle 1997) y/o a la saturación del suelo superficial por anegamiento, acentuado éste por las costras estructurales vesiculares que sobreyacen. Similares observaciones fueron realizadas por Fedoroff y Courty (1989), en suelos y paleosuelos del Sahara, proponiendo utilizar esta modificación pedológica - junto a las costras superficiales- como criterios de reconocimiento de fases de aridización creciente.

El cambio estructural puede ser acompañado además por un cambio textural, donde una disminución de la fracción arcilla se produce a expensas de la incorporación, a través de huecos planos y canales de raíces, de material más grueso proveniente de las capas suprayacentes. Los granos minerales de las capas superiores inmersos en la masa basal, posiblemente hayan sido incorporados a la misma por procesos de expansión-contracción de las arcillas. Este cambio estructural está relacionado a una génesis sobreimpuesta o poli-génesis del horizonte argílico.

La presencia de revestimientos arcillosos de hasta 1 mm de espesor, fracturados sobre las paredes de los poros y aquellos con microfisuras entre y a través de las laminaciones (Figuras 7 y 8), indica cierto envejecimiento de estos rasgos texturales y por lo tanto la interrupción del proceso de iluviación. Nettleton y Peterson (1983) encontraron -en Aridisoles de los Estados Unidos- que la formación del horizonte argílico ha ocurrido en climas cuaternarios más húmedos que los actuales. En las proximidades al área de estudio, Súnico *et al.* (1993) determinaron que la presencia de horizontes argílicos marcaría un episodio de estabilidad y de mayor humedad ocurrida durante el Holoceno medio. La relativa ausencia de revestimientos arcillosos continuos sobre las paredes de los poros y agregados, se debe a que dichos recubrimientos han sido destruidos y posteriormente incorporados a la masa basal del suelo por sucesivos ciclos de expansión-contracción (Buol 1964; Gile, Grossman, 1968).

En el horizonte Btk, la destrucción de los revestimientos arcillosos es además causada por el crecimiento autigénico de calcita micrítica que oblitera a dichos rasgos texturales e intercrece en la micromasa (Figura 9). Estas mismas observaciones han sido realizadas por Gile y Grossman (1968) en suelos Argides de Nueva México. El horizonte Btk posiblemente corresponda al estado I de acumulación carbonática propuesta por Gile *et al.* (1966).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, la degradación del suelo superficial y subsuperficial puede ser

evidenciada por la secuencia de deterioro que presentan los poros estructurales. Dichos poros (huecos de empaquetamiento y huecos planos) evolucionan a cavidades y a vesículas por colapso o asentamiento de la estructura debido a dispersión química (altos valores de porcentaje de sodio intercambiable) y mecánica (impacto de las gotas de lluvia y ciclos de congelamiento-descongelamiento). Los procesos de contracción-expansión, en cambio, generarían huecos planos dando lugar a estructuras fisuradas y en bloques subangulares.

La identificación de indicadores micromorfológicos de degradación, junto con las propiedades edáficas del microrelieve, pueden ser usadas como criterios de evaluación de la desertificación. Las características meso y micromorfológicas de las costras estructurales vesiculares y las del horizonte Bt evidencian, no solo una superficie sumamente dinámica por la acción hídrica, sino también propiedades hidrológicas restrictivas para el establecimiento de la vegetación nativa.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONICET por el subsidio con que se financió el Proyecto Degradación de suelos áridos en el NE del Chubut: posibilidades de manejo y recuperación, del cual el presente trabajo forma parte. Asimismo agradecen al revisor del trabajo por las correcciones realizadas.

## REFERENCIAS

- Bouza, P.J, del Valle H.F, P Imbellone. 1993. Micromorphological and physico-chemical characteristics of soil crust types of the central Patagonia region, Argentina. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 7: 355-368
- Bouza P.J, del Valle H.F 1997. Génesis de pavimentos de desierto en el ambiente pedemontano del Bajo de la Suerte, noreste del Chubut extrandino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52:157-168.
- Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, Stoops G, Tursina T, Babel U. 1985. *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, 152 p.
- Buol SW. 1965. Present soil-forming factors and processes in arid and semiarid regions. *Soil Science*. Vol. 99. No. 1
- De Fina A, Garbosky A, Giannetto F, Sabella L. 1968. Difusión geográfica de cultivos índices en la provincia del Chubut. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Publicación N° 110, 56 p.
- Fedoroff N, Courty M A. 1989. Indicateurs pédologiques d'aridification. Exemples du Sahara. *Bull. Soc. Géol. France* 8, t. V(1): 43-53.
- Figueira H.L. 1984. Horizonte vesicular: morfología y génesis en un aridisol del norte de la Patagonia. *Ciencia del Suelo* 2: 121-129.
- Gile, L., F. Peterson y R. B. Grossman, 1966. Morphological and



- genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science* 101: 347-360.
- Gile L.H, Grossman R.B. 1968. Morphology of the argillic horizon in desert soils of southern New Mexico. *Soil Science* 106: 6-15.
- Greene R. S, Tongway D J. 1989. The significance of (surface) physical and chemical properties in determining soil surface condition of red earth in rangelands. *Australian Journal Soil Research*, 27:213-225.
- Mücher H J, Chartres C J, Tongway D J, Greene R S. 1988. Micromorphology and significance of the surface crust of soil in rangeland near Cobar, Australia. *Geoderma*, 42:227-244.
- Nettleton W D, Peterson F F. 1983. Aridisols. En Wilding LP et al. (Eds.). *Pedogenesis and soil taxonomy: II The soil orders*. Elsevier, Amsterdam, pp. 165-215.
- Ringrose-Voase A J. 1991. Micromorphology of soil structure: Description, Quantification, Application. *Australian Journal Soil Research* 29: 777-813.
- Ringrose-Voase A, Bullock P. 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *Journal of Soil Science* 35: 673-684.
- Smith E L. 1979. Evaluation of the range condition concept. *Rangeland*, 1:52-54.
- Springer M E. 1958. Desert pavement and vesicular layer of some soils of the desert of the Lahontan basin, Nevada. *Soil Science of America Society Proceedings*, 22: 63-66.
- Súnico C A, Cano C, del Valle H F. 1993. Sedimentología de un perfil edáfico poligenético y policíclico del noreste del Chubut. XII Congreso Geológico Argentino. Mendoza. VI: 9-17
- Súnico C A, Bouza P J, del Valle H F. 1996. Erosion of subsurface horizons in northeastern Patagonia, Argentina. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 10: 358-378.
- Valentin C, Bresson L M. 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55: 225-245.