

## **MINERALOGIA Y MICROMORFOLOGIA DE SUELOS LOESSICOS CON DESARROLLO MODERADO EN LA LLANURA SUBVENTANICA OCCIDENTAL BONAERENSE, ARGENTINA**

Blanco, M.del C. \* Sanchez, L.F.\*, Vera, M.\*\*\*, Aguilar Ruiz, J.\*\*\*

\* Universidad Nacional del Sur, Agronomía, Bahía Blanca, Argentina.

\*\* Universidad de los Andes, Fac. de Cas. Forestales, Mérida, Venezuela.

\*\*\* Universidad de Granada, Dpto. de Edafología y Qca. Agrícola. España.

**Abstract:** Three profiles moderate developed differing in the evolution tendency from the zonal soils at the extreme of the plain, were studied in Llanura Subventánica Occidental Bonaerense (Argentina). The horizon sequence of the contrasting zonal soils is Ap-Bt-B3-C-2Ckm2 in the proximal section and Ap-AC-C1-Ck2-2Ckm3 in the distal section. Variability observed in some properties (calcium carbonate content, texture, etc) indicates that the pedologic cover is not homogeneous as it is pointed in some studies. The objective of this paper is to explain soil genesis of the studied profiles and to prove after sedimentological, mineralogical and micromorphological studies that these differences are indicators of the time, climate-paleoclimate and pedogenesis relationship.

**Key words:** moderate development, variability, loess, sedimentary parameters, mineralogy, micromorphology, time, climate-paleoclimate, pedogenesis relationship.

**Resumen:** Se estudiaron en la Llanura Subventánica Occidental Bonaerense (Argentina), tres perfiles con desarrollo moderado en material parental loessico, los cuales difieren en su tendencia evolutiva de los suelos zonales de ambos extremos de la llanura. Los suelos zonales de morfologías contrastantes, presentan una secuencia de horizontes Ap-Bt-B3-C1-2Ckm2 en el sector proximal y Ap-AC-C1-Ck2-2Ckm3 en el sector distal.. Se observó variabilidad en algunas propiedades (p.e contenido de carbonato de calcio, texturas etc.) que destacan las diferencias y evidencian que la cobertura pedológica no es tan homogénea como lo indican estudios de tipo generalizado. El objetivo de este trabajo es explicar la génesis de estos suelos y establecer a partir de estudios sedimentológico, mineralógico y micromorfológico que las diferencias en las morfologías y propiedades con respecto a los suelos zonales de ambos extremos del area, se constituyen en indicadores de la relación tiempo-clima-edafoogénesis.

**Palabras clave:** desarrollo moderado, variabilidad, loess, parámetros sedimentarios, mineralogía, micromorfología, tiempo, clima-paleoclimate, edafogénesis.

### **INTRODUCCION**

La Llanura Subventánica Occidental Bonaerense constituye el sector suroccidental de

la Región Pampeana Argentina, extendida desde los contrafuertes de la Sierra de la Ventana hasta la Costa Atlántica, a 600 km al SW de Buenos Aires y unos 120 km al NE de Bahía

Blanca. Conforman una llanura pedemontana integrada a la unidad geomorfológica denominada «Positivo de Ventania» (Gonzalez Uriarte 1984), subdividida en tres secciones: proximal (interfluvios planos), medio (topografía ondulada), y distal (planos extendidos).

El material parental de los suelos de la región son sedimentos loessicos Holocenos o sus redepósitos por transporte eólico, suprayacentes a una capa de tosca, de edad Plio-Pleistoceno (calcrete- Horizonte petrocálcico) denominados genéricamente Formación Pampeano, Pampeano, Pampiano y Postpampiano (Darwin 1846.; Frenguelli 1925; Etchevehere 1975; Fidalgo *et al.* 1975; Tricart 1973; Zárate y Blassi 1990; Bidart 1992). La capa de tosca constituye un relicto paleoclimático desarrollado en condiciones de aridez y frío (Quattrochio *et al.* 1995).

Las morfologías de perfil contrastante y de mayor desarrollo ocurren en los suelos zonales de ambos extremos de la llanura, en condiciones de edafoclima údico-térmico en el piedemonte proximal (659m- Estación Tornquist) transicional al ústico-térmico en el sector distal (538mm-Estación Bahía Blanca). Los procesos pedogenéticos en el área de estudio son la melanización, la iluviación de arcillas y la concentración de carbonato de calcio secundario determinantes de la génesis de epipedones mólicos, horizontes argílicos hacia el extremo proximal, horizontes cálcicos y petrocálcicos ubicuos en la región. No obstante, coexistiendo con estos suelos, se han identificado en las tres secciones de la llanura y en materiales parentales de idéntico origen -loess eólico-, perfiles con secuencia de horizontes relativamente simples, moderadamente desarrollados y sin evidencia de translocación de partículas, cuya génesis y presencia en el paisaje se tratará de explicar.

Durante el relevamiento de campo se observó variabilidad en algunas propiedades que destacan las diferencias entre estos suelos y evidencian que la cobertura pedológica no es tan homogénea como lo indican estudios de tipo generalizado, ya que presentan variaciones con respecto a la tendencia evolutiva de

aquellos suelos zonales. Estos últimos en equilibrio con las actuales condiciones climáticas de la región pedemontana actuando sobre un mismo material parental. Una de las propiedades que presenta variabilidad es el carbonato de calcio, pues se encontró un suelo calcáreo desde la superficie (perfil Napostá), un perfil lavado (perfil Tornquist) y otro con el solum virtualmente lavado con acumulación secundaria en un horizonte cálcico (perfil Muzzi). Según Mac Donald y Bussaca (en Amiotti *et al.* inédito) la formación de suelos en áreas de aporte eólico, como son las llanuras loessicas, resulta de una competencia entre procesos sedimentarios y pedológicos favorables a estos últimos, expresados en la morfología de perfil como rasgos edáficos. En consecuencia, el tiempo de exposición a la meteorización (Markewich *et al.* 1990; Tonkin y Basher 1990) sería, entre otras, causa de la ocurrencia de patrones de distribución que muestran en una área dada y sobre un mismo material parental la coexistencia, de suelos con morfologías contrastantes y con un grado de desarrollo variable entre incipiente y moderado hasta avanzado.

Como hipótesis de trabajo se propone que en las tres secciones de la Llanura Subventánica Occidental Bonaerense, además de los suelos zonales con un perfil Ap-Bt-B3-C-2Ckm2 en el sector proximal y Ap- AC-C1-Ck2-2Ckm3 en el sector distal, existen otros suelos como los investigados, cuyo escaso o moderado desarrollo de perfil es consecuencia de diferencias en el tiempo de exposición a la meteorización. El objetivo de este trabajo es explicar la génesis de los perfiles estudiados y establecer, a partir de estudios sedimentológico, mineralógico y micromorfológico, que las diferencias en las morfologías y propiedades con respecto a los suelos zonales de ambos extremos del área se constituyen en indicadores de la relación clima-tiempo-edafoogénesis.

## MATERIALES Y METODOS

Se han seleccionado tres perfiles, uno en

cada sección de la Llanura Subventánica Occidental Bonaerense (Fig. 1), designados como perfil Tornquist (sección proximal), perfil Napostá (sección media) y perfil Muzzi (sección distal) (Fig. 2). El perfil Napostá es un suelo incipientemente desarrollado (Ap-AC-C1-2Ckm2), calcáreo desde la superficie, sin acumulación de carbonato de calcio secundario en profundidad o evidencia de iluviación de arcillas. El perfil Muzzi, se encuentra parcialmente decarbonatado y con un horizonte calcico en subsuperficie. Es el suelo zonal de Bahía Blanca, de moderada diferenciación morfológica (Ap-AC-C1-Ck2-2Ckm3). El perfil Tornquist está totalmente decarbonatado y presenta mayor desarrollo en una secuencia Ap-Bw1-Bw2-C1-2Ckm2.

Se tomaron muestras perturbadas sobre las que se realizaron las siguientes determinaciones: distribución por tamaño de partículas previa remoción del carbonato de calcio con ácido acético al 10% y materia orgánica con agua oxigenada al 30%; subfracciones arena muy fina (50-100 $\mu$ m), fina (100-250 $\mu$ m), media (250-500 $\mu$ m), gruesa (500-1000  $\mu$ m) por tamizado, limo y arcilla (método de la pipeta). Se graficaron las curvas acumulativas de frecuencia por tamaño de grano en escala  $\theta$  en las abscisas y los porcentajes acumulativos de cada clase en escala aritmética (Fig. 3), luego se calcularon los siguientes parámetros sedimentarios (Folk y Ward 1957): mediana, media, asimetría y kurtosis (Tabla 1). También se determinó car-

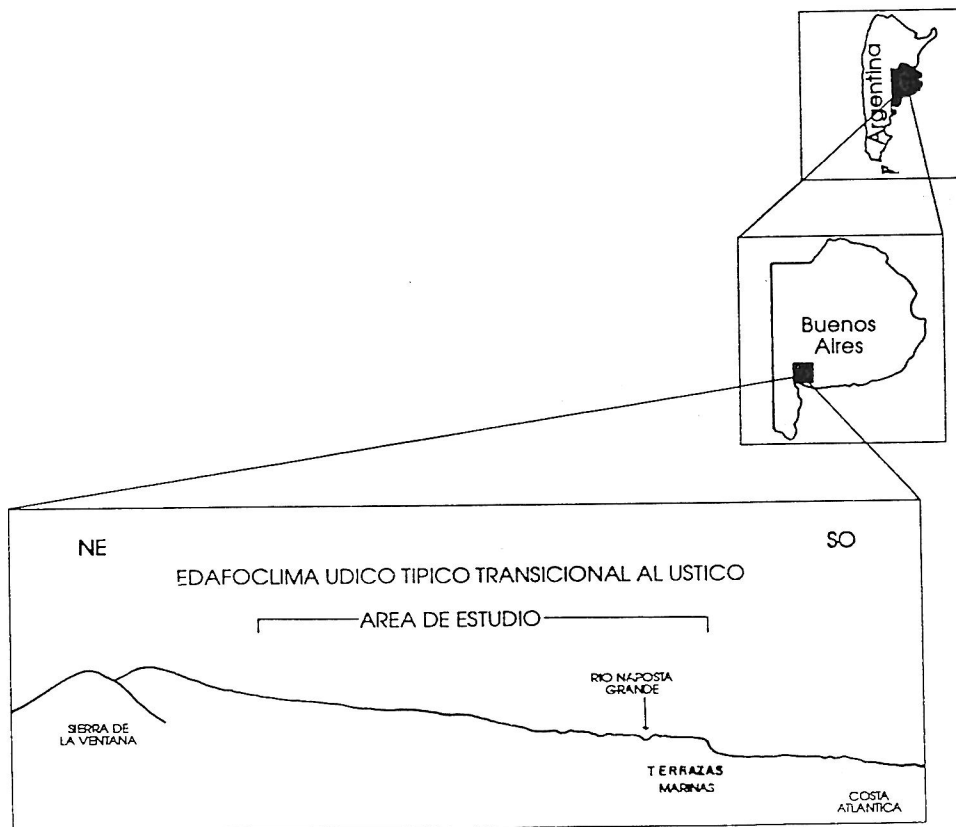


Fig. 1: Ubicación y perfil esquemático del área de estudio

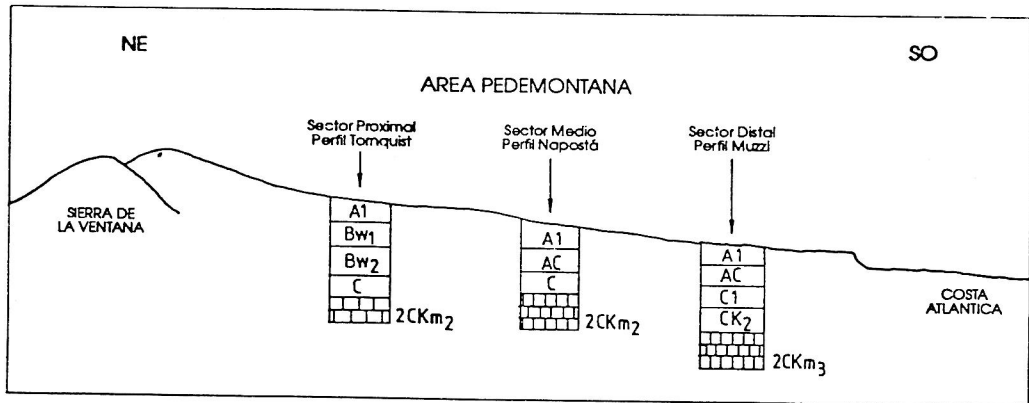


Fig. 2. Situación de los perfiles en el paisaje.

Tabla 1. Parámetros sedimentarios-medidas gráficas

		Perfil 1 Muzzi				Perfil 2 Napostá			Perfil 3 Tornquist			
		Ap	AC	C <sub>1</sub>	C <sub>2ca</sub>	Ap	AC	C <sub>1</sub>	Ap	Bw1	Bw2	C
TAMANO DE PROMEDIO	Mz	0.062	0.049	0.060	0.071	0.070	0.095	0.073	0.080	0.045	0.055	0.034
	So	2.590	2.590	3.250	2.220	2.220	2.220	2.250	3.030	3.700	2.660	3.400
ASIMETRIA	2ND $\theta$	0.270	0.211	0.215	0.2857	0.488	0.409	0.510	0.035	-0.270	-0.145	-0.330
	SKI	0.140	0.213	0.127	0.142	0.310	0.181	0.160	0.030	-0.228	-0.127	-0.160
KURTOSIS	Kg	0.819	0.750	0.786	0.819	1.003	0.997	1.180	0.778	0.663	0.860	0.690

bonato de calcio (calcímetro de Bernard); carbono orgánico (Walkey y Black); nitrógeno total (Kjedahl); fósforo (Olsen); pH (suelo-agua y suelo KCl 1:2.5); CIC (acetato de amonio a pH 8.2); K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> por flamometría y Mg<sup>++</sup> por volumetría.

El estudio mineralógico se efectuó sobre la fracción 88 $\mu$ m, separando los minerales livianos y pesados utilizando bromoformo (d=2.87), montando los primeros en forma temporal sobre un portaobjetos con una mezcla de nitrobenzeno

y kerosene ( $d=1.489$ ), en tanto los pesados se fijaron con bálsamo de Canadá. La determinación cuantitativa se realizó según el método de Edelman. La fracción arcilla ( $<2\mu\text{m}$ ) se estudió por difracción por Rayos X en un difractor Rigaku-Geiger Flex-D-max IIIC en las siguientes condiciones operativas: 35 mA, 35 kv, anticátodo de Cu, monocromador de grafito entre  $3-30^\circ$  y entre  $3-15^\circ$  aplicando un factor de suavizamiento para disminuir el ruido y mejorar la definición de los picos de las arcillas interstratificadas. Las muestras de la secuencia de horizontes completa se irradiaron en condiciones naturales, saturadas con  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{++}$  más glycol, obteniéndose unos 40 difractogramas. Se tomaron muestras no perturbadas en cajas de Kubiena para el estudio micromorfológico de la secuencia de horizontes completa, se impregnaron con resina Cronolita 1108 (Altemüller 1962) y se prepararon en el Lab. de Edafología y Química

Agrícola de la Universidad de Granada. La descripción de las secciones delgadas se realizó según Bullock *et al.* (1985). Los perfiles se clasificaron según Soil Taxonomy (1996) y FAO (1990).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Clasificación de los perfiles

La caracterización macromorfológica y físico-química se presenta en las tablas 2y 3. Los suelos estudiados suprayacen al manto de tosca (horizonte petrocálcico) y presentan como rasgo común un horizonte A superficial que satisface los requerimientos de color oscuro, estructura, espesor, carbono orgánico y saturación con bases para calificar como epipedón móllico. Se clasificaron como: **perfil Muzzi**: Paleustoll petrocálcico (Soil Taxonomy 1996), Kastanozem (petro?)calcico (FAO 1990); **perfil Napostá**:

Tabla 2. Características morfológicas y granulométricas de los perfiles estudiados

Horizonte	Profundidad	Color	Estructura	Arcilla <0.002	Limo 0.05 - 0.002	Distribución de tamaño de partículas (mm)				
						AMF 0.1 - 0.05	AF 0.25 - 0.1	AM 0.5 - 0.25	AG 1.0 - 0.5	AMG 2.0 - 1.0
Perfil MUZZI - Paleustoll petrocálcico, térmico, franco fino.										
Ap	0-10	10YR 3/3	bsa,m,m	29.76	32.67	19.86	13.23	3.92	0.53	-
AC	10-28	10YR 3/2	bsa,m,m	34.94	28.15	22.59	10.98	3.03	0.21	0.1
C1	28-39	10YR 3/4	bsa,f,d	32.18	31.82	20.50	11.97	3.22	0.21	0.1
Ck2	39-69	10YR 7/3	bsa,f,m	30.40	37.75	18.01	9.12	3.51	0.94	0.23
2Ckm3										
Perfil NAPOSTA - Calciustoll petrocálcico, térmico, franco grueso.										
Ap	0-13	10YR 3/3	gs	17.27	33.30	33.40	9.57	5.93	0.31	0.21
AC	13-37	10YR 3/3	bsa,f,d	16.75	33.08	33.82	10.03	6.09	0.23	-
C1	37-63	10YR 3/4	bsa,f,d	19.33	33.03	32.34	9.55	5.52	0.23	-
2Ckm2										
Perfil TORNQUIST - Paleudoll petrocálcico, térmico, franco fino.										
A1	0-14	10YR 3/2	bsa,m,m	28.42	37.31	9.82	12.02	11.81	0.52	0.10
Bw1	14-32	10YR 3/1	bsa,f,f	44.89	32.33	8.62	7.66	6.28	0.11	0.11
Bw2	32-44	10YR 3/3	bsa,f,f	32.88	40.53	9.11	8.90	8.06	0.31	0.21
C1	44-56	10YR 4/3	bsa,m,m	40.27	32.65	8.91	9.64	8.19	0.31	-
2Ckm2										

Estructura: tipo, bsa: bloques subangulares, gs: grano simple; clase, g: grueso, m: medio, f: fino; grado, f: fuerte, m: moderado, d: débil

Tabla 3. Características químicas de los perfiles estudiados

Horizonte	pH	1:2.5	CO	NT	P	CaCo3	Complejo de cambio				
	H <sub>2</sub> O	KCl	(%)	(%)	mg kg <sup>-1</sup>	(%)	CIC	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Perfil MUZZI - Paleustoll petrocálcico, térmico, franco fino.											
Ap	6.3	5.1	1.67	0.161	26.6	0.6	18.7	16.7	3.6	0.1	4.1
AC	6.7	5.7	1.00	0.107	4.4	0.8	20.8	20.7	4.4	0.2	3.6
C1	7.7	6.2	0.67	0.083	5.3	0.8	21.6	24.5	5.1	0.3	2.6
CK2	8.5	7.2	0.40	0.054	0.9	32.6	15.0	35.4	8.4	0.4	0.8
2Ckm3											
Perfil NAPOSTA - Calciustoll petrocálcico, térmico, franco grueso.											
Ap	7.9	7.0	1.96	0.230	4.8	1.9	15.5	35.1	1.3	0.1	2.2
AC	8.1	7.1	1.61	0.177	2.0	4.4	14.5	33.0	1.3	0.2	1.7
C1	8.2	7.2	1.00	0.104	1.1	9.4	11.5	21.7	1.7	0.3	0.9
llC2cam											
Perfil TORNQUIST - Paleudoll petrocálcico, térmico, franco fino.											
A1	6.2	5.3	2.16	0.201	27.9	0.4	15.5	15.9	2.9	0.1	2.5
Bw1	6.7	5.3	1.38	0.115	4.4	0.4	21.1	19.7	3.8	0.1	1.9
Bw2	7.2	5.5	0.78	0.081	7.3	0.4	24.2	20.0	4.0	0.2	1.6
C1	7.6	5.8	0.55	0.070	17.3	0.5	25.3	20.8	4.8	0.2	1.6
2Ckm2											

Calciustoll petrocálcico (Soil Taxonomy 1996), Kastanozem calcárico (FAO 1990); **perfil Tornquist**: Paleudoll petrocálcico (Soil Taxonomy 1996), Kastanozem petrocálcico (FAO 1990).

#### *Parámetros sedimentarios*

El material parental loessico es de origen similar para los tres perfiles estudiados y proviene de una idéntica fuente de aporte situada en la Cordillera de los Andes (Teruggi 1957), vinculada a lluvias de cenizas volcánicas denominadas «eolocineritas» (Tricart 1973) transportadas por saltación y en suspensión por los vientos W-SW. Presentan un tamaño de grano mayor, en general texturas más heterogéneas y menor grado de selección que aquellos del hemisferio Norte en los que predomina la fracción limo. Según Zárate y Blassi (op. cit.), si se

considera su tamaño arena dominante, el área de procedencia se ubicaría a menor distancia. El material de naturaleza clástico volcánico habría sido exportado por transporte fluvial hasta cuencas vecinas (e.g cuenca del río Colorado), desde donde por deflación se habrían originado los mantos loessicos del SW pampeano depositados sobre la paleosuperficie conformada por la capa de calcrete (tosca) que marca un hiatus entre ambos. Probablemente, los sedimentos depositados sobre la capa de tosca podrían correlacionarse con la Formación Saavedra la cual es el material parental de los suelos agrícolas del piedemonte proximal (Rabassa 1989, 1990; Bidart 1996).

Las curvas acumulativas del perfil Muzzi son muy similares indicando un material sumamente homogéneo desde la superficie. La media corresponde a la subclase arena muy fina y

el material es pobremente seleccionado. La distribución es asimétrica positiva y platicúrtica a muy platicúrtica en la base. En el perfil Napostá también se observa homogeneidad en las curvas acumulativas y un tamaño de grano promedio, subclase arena media, mayor que el dominante en la zona de estudio. Son ligeramente asimétricas positivas y mesocúrticas, excepto en el horizonte C, en el cual se transforma en leptocúrtica. El contraste en la picosidad estaría relacionado con su posición topográfica inestable en media loma, donde ocurren fugas y aportes de materiales dado que la morfogénesis predomina sobre la edafogénesis. En tanto, en el perfil Muzzi y el perfil Tornquist evolucionan en planos estabilizados en ambos extremos de la llanura pedemontana. En consecuencia, no presentan complicaciones resultantes de procesos morfogenéticos, lo cual se refleja en la homogeneidad de sus curvas acumulativas y de los parámetros sedimentarios de la secuencia vertical de horizontes. El perfil Tornquist, presenta una textura más fina que los otros estudiados. El tamaño de grano promedio en el material parental corresponde a la clase limo y es muy pobremente seleccionada. Las distribuciones son asimétricas negativas y platicúrticas a muy platicúrticas (Tabla 4).

Todos los materiales que componen la masa del suelo califican como loess arenoso, según la clasificación para sedimentos loessicos propuesta por Bidart (op.cit).

En general, los sedimentos loessicos del SW pampeano presentan diferencias en el patrón de distribución espacial de sus características texturales, lo que permite descartar una sedimentación uniforme en tiempo y espacio. Se vinculan a un transporte eólico por saltación y en suspensión y a una sedimentación mantiforme con posterior removilización episódica que empobrece la selección (Blanco y Sanchez 1992). Los depósitos loessicos sedimentaron en dos (Bidart op.cit) o más episodios eólicos (Tricart 1973; Rabassa op.cit.; Zárate y Blassi op. cit.) relacionados con los ciclos secos del Pleistoceno Tardío y del Holoceno tardío

registrados en la provincia de Buenos Aires. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las curvas acumulativas por tamaño de partículas intrapedónicas por lo que se descartó la presencia de discontinuidades litológicas dentro de la secuencia de horizontes (Fig. 3), excepto aquella observada en el campo entre el horizonte petrocálcico y el suelo suprayacente. Esta última corresponde a una discontinuidad temporal o hiatus entre dos eventos deposicionales. El horizonte petrocálcico marca una paleosuperficie relacionada con un ciclo más árido que el actual, es parte de un paleosuelo truncado por la erosión y constituye un relicto paleoclimático subyacente a los sedimentos loessicos Holocenos sobre los que progresa la pedogénesis actual.

No obstante, se han observado algunas macrocaracterísticas en el horizonte cálcico (perfil Muzzi-horizonte Ckm2), como nódulos y concreciones gruesas de carbonato de calcio en algunos casos mayores de 10 cm de diámetro, cuya génesis parece no responder a las actuales condiciones edafoclimáticas y que podrían atribuirse a una discontinuidad, al menos temporal. Situaciones similares se han observado en el partido de Villarino, cercano al área de estudio (Amiotti com. personal). Sin embargo, dado el limitado número de perfiles estudiado en este trabajo, estas evidencias conjuntamente con algunas diferencias porcentuales observadas en el recuento de minerales livianos (Tabla 4), resultan aún insuficientes para corroborar dicha discontinuidad.

#### *Análisis mineralógicos*

Los análisis cualitativos de la fracción arena (88µm) se presenta en las Tablas 4 y 5. La misma se compone en un 95% de minerales livianos entre los que son comunes los feldespatos alcalinos, cuarzo, vidrio volcánico y frecuentes palgioclasas de tipo andesina y labradorita con maclas polisintéticas y extinción zonal. Se observaron, además, micas y silicofitolitos, estos últimos más abundantes en horizontes superficia-

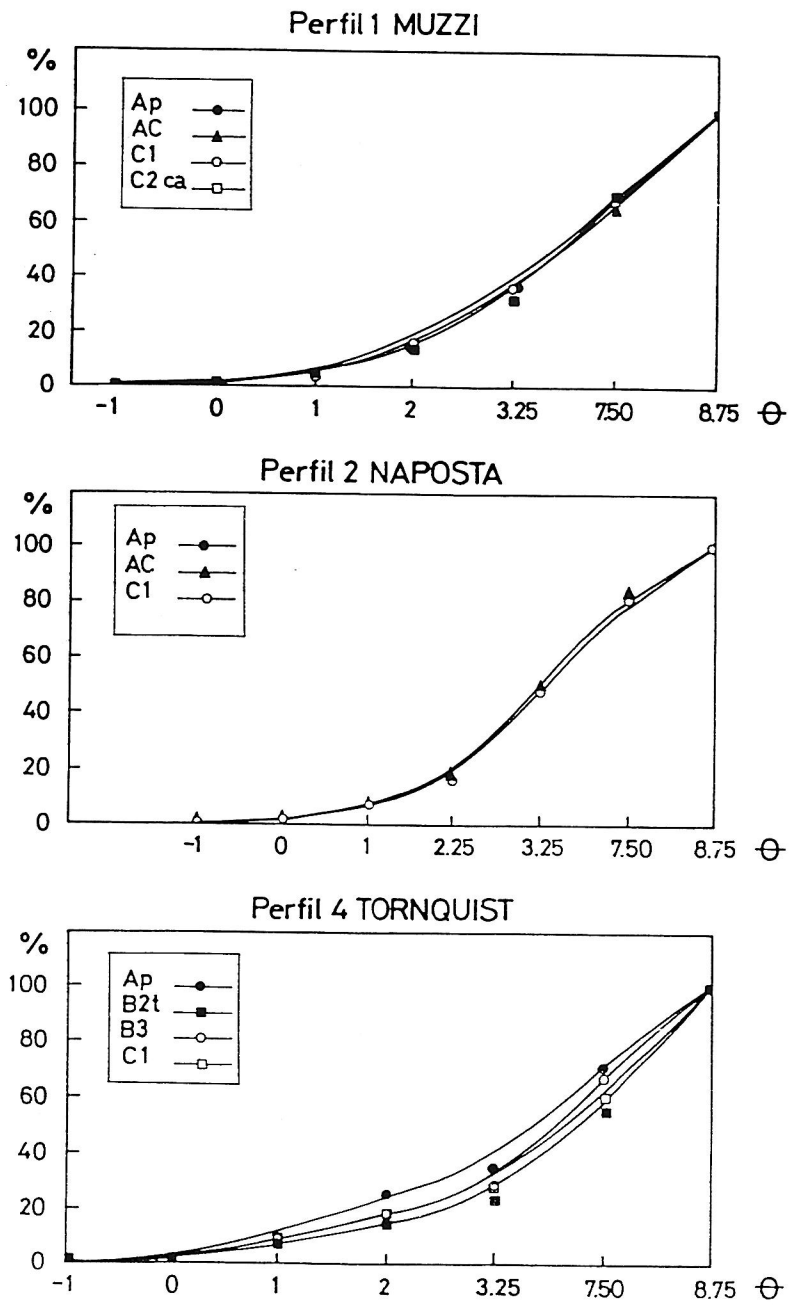


Fig. 3. Curvas acumulativas por tamaño de partículas



Tabla 4. Recuento porcentual de minerales livianos en la fracción arena.

## Perfil Muzzi

HORIZONTE	CUARZO	FELDESPATO	PLAGIOCLASAS	V. VOLCANICO	FITOLITOS	BIOTTA	MUSCOVITA	F. ROCOSOS	AGREGADOS	CALCITA
Ap	13	27	8	14	9	1	1	26	1	-
AC	19	11	9	19	5	1	1	30	5	-
C	23	22	6	11	7	1	1	27	2	-
C <sub>2k</sub>	11	17	12	9	3	2	2	36	2	5

## Perfil Napostá

HORIZONTE	CUARZO	FELDESPATO	PLAGIOCLASAS	V. VOLCANICO	FITOLITOS	BIOTTA	MUSCOVITA	F. ROCOSOS	AGREGADOS
Ap	17	21	12	14	8	2	1	24	1
AC	16	15	10	10	9	2	2	30	4
C	13	26	10	13	6	1	1	28	2

## Perfil Tornquist

HORIZONTE	CUARZO	FELDESPATO	PLAGIOCLASAS	V. VOLCANICO	FITOLITOS	BIOTTA	MUSCOVITA	F. ROCOSOS	AGREGADOS
Ap	15	24	7	12	14	2	2	20	4
B <sub>w1</sub>	20	25	9	10	5	2	1	25	3
B <sub>w2</sub>	24	21	11	14	6	1	1	19	3
C	20	22	5	17	5	2	2	26	2

les. En general, los minerales se presentan bastante frescos, excepto los feldespatos alcalinos cuya profusa meteorización se atribuye a un ciclo pedogenético previo a su transporte y depositación en el SW bonaerense. Se determinaron fragmentos de vidrio volcánico, tanto incoloros ácidos como pardos básicos, frescos y alterados con patrones de meteorización lineal, irregular y pelicular a arcillas que por sus colores de interferencia podrían atribuírse a filosilicatos de tipo 2:1. Estos sedimentos presentan un mayor contenido de vidrio volcánico que los diferencia de

aquellos americanos y europeos.

Los minerales pesados constituyen entre el 4-5% del total entre opacos, hornblenda común, epidoto, augita e hipersteno. Los fragmentos rocosos son comunes en ambas fracciones. No se han podido determinar debido a su pequeño tamaño. La reserva de minerales meteorizables es alta en todos los perfiles estudiados y la mineralogía indica un estadio de meteorización reciente a intermedio. Al confrontar los respectivos materiales parentales no se observaron diferencias en cuanto a las especies reconoci-

das. Aunque del recuento de minerales surgieron algunas variaciones porcentuales, la mineralogía de la fracción 88  $\mu\text{m}$  coincidió con la presentada para los sedimentos loessicos de la Llanura Pampeana (Frenguelli op. cit., Scoppa 1974, Pazos 1981, Lutens 1982, Teruggi e Imbellone 1983, Morrás 1985). Las diferencias significativas se identificaron en los minerales livianos entre el horizonte C y el horizonte Ck2 (Tabla 5, perfil Muzzi), las cuales podrían evidenciar una discontinuidad

litológica a la profundidad del horizonte calcicoque debe estudiarse en un mayor número de perfiles para su confirmación y extrapolación de resultados a otras áreas de la cobertura loessica.

*Mineralogía de las fracciones limo y arcilla*

A partir de los difractogramas de la fracción arcilla ( $<2\mu\text{m}$ ), se determinó que el mineral fundamental en el material parental y en el

Tabla 5. Recuento porcentual de minerales pesados en la fracción arena.

**Perfil Muzzi**

TRANSPARENTES												
HORIZONTE	OPACOS	TURMALINA	ZIRCON	RUTILO	BIOTTA	MUSCOVITA	EPIDOTO	AUGITA	HIPERSTENO	HORNBLENDA	HORNBLENDA BASALTICA	F. LITICOS
Ap	33	3	3	4	3	-	7	12	5	37	6	20
AC	34	1	1	1	8	4	13	8	1	38	4	20
C <sub>1</sub>	20	1	1	1	5	5	14	9	3	32	9	20
C <sub>2k</sub>	27	1	4	2	4	3	11	10	2	33	5	25

**Perfil Napostá**

TRANSPARENTES												
HORIZONTE	OPACOS	TURMALINA	ZIRCON	RUTILO	BIOTTA	MUSCOVITA	EPIDOTO	AUGITA	HIPERSTENO	HORNBLENDA	HORNBLENDA BASALTICA	F. LITICOS
Ap	20	1	4	1	6	3	16	6	6	40	5	12
AC	20	1	3	1	3	4	12	5	9	36	1	20
C	30	1	1	2	3	1	17	6	8	32	5	18

**Perfil Tornquist**

TRANSPARENTES												
HORIZONTE	OPACOS	TURMALINA	ZIRCON	RUTILO	BIOTTA	MUSCOVITA	EPIDOTO	AUGITA	HIPERSTENO	HORNBLENDA	HORNBLENDA BASALTICA	F. LITICOS
Ap	25	1	2	1	4	1	10	18	4	27	4	28
B <sub>w1</sub>	24	1	4	1	5	1	11	19	2	29	7	20
B <sub>w2</sub>	22	1	1	2	3	1	11	11	2	21	6	19
C	29	1	2	1	5	-	7	20	5	30	8	21

solum de los perfiles estudiados es la illita (1 nm). Coexiste con minerales interstratificados del tipo illita-smectita (2.4, 1.2 nm- perfil Tornquist y perfil Napostá) y/o clorita smectita (2.65 nm, 1.4nm, 0.79nm -perfil Muzzi) los cuales manifiestan expansión por saturación con glycol. Se identifica también un pequeño pico de distancia basal 0.7nm, el cual podría atribuirse a kaolinita. El cuarzo (0.426nm) y los feldespatos (0.64nm, 0.33nm, 0.32 nm) aparecen frecuentemente como accesorios. Se observa un desmejoramiento de la calidad de los difractogramas del sector proximal, debido a un decrecimiento de la calidad del ordenamiento cristalino de las arcillas. Hacia el sector de los bajos ángulos (entre 3°-15°) se reconoce un pico de primer orden correspondiente a los minerales arcillosos interstratificados sólo al irradiar la muestra natural. Luego de ser tratada con glycol, no se detecta esta reflexión, pero aún se reconocen pequeños picos expandidos de órdenes menores (Fig. 4 y 5) lo cual reflejaría la irregularidad de la estratificación.

Las interstratificaciones identificadas presentan un grado de desorganización en su estructura cristalina que resulta en patrones de difracción complejos. La composición de la fracción arcilla estudiada es una propiedad heredada del material parental loessico, en la cual se reflejan procesos edafogenéticos de transformación de intensidad moderada, en un medio cuyas características geoquímicas están determinadas por un pH neutro en el tope a ligeramente alcalino hacia la base de los perfiles. El catión dominante en el complejo de intercambio es el Ca<sup>++</sup> y la CIC determinada está en correspondencia con los minerales arcillosos identificados (Tabla 2). Este ambiente de meteorización tiene una moderada agresividad pedogenética y un efecto también moderado en la neoformación de los argilominerales. No se comprobó una secuencia de alteración en la composición de la fracción arcilla con respecto a las sucesivas variaciones edafoclimáticas en la extensión de la transecta.

Son escasos los análisis efectuados en la

fracción limo en el Sur de la región Pampeana Argentina e inexistentes en el área de estudio. La composición de la fracción 2-20 µm es homogénea en la secuencia de horizontes y contiene minerales primarios, fundamentalmente cuarzo y feldespatos, además de algunos minerales máficos de tipo piroxeno o anfíbol (0.8 nm) junto con illita (o mica) e interstratificados de tipo illita-smectita y/o clorita-smectita.

#### *Micromorfología*

El perfil Muzzi tiene una microestructura migajosa dominante en los horizontes Ap y AC, fina hasta gruesa, débil a moderada, con microrasgos de caras lisas y rugosas, microporos de empaquetamiento compuesto, canales y cavidades producto de la intensa actividad biológica con abundante producción de deyecciones organominerales, colaescentes y porosos, de lombrices. Es masiva hacia el horizonte Ck2 debido a la fuerte cementación de carbonato de calcio inicialmente presente en el sedimento loessico. Los constituyentes gruesos coinciden en su aspecto cualitativo con otros perfiles en sedimentos loessicos de la llanura pampeana.

El material fino humoarcilloso es de color pardo oscuro y su textura de birrefringencia es moteada, en mosaico y con zonas isotrópicas en los horizontes Ap y AC. Hacia el horizonte Ck2 aparece de color variable entre pardo claro, pardo oscuro a pardo amarillento y b-fábrica cristalítica en razón de la impregnación de la matriz con carbonato de calcio micrítico. Los componentes orgánicos observados en las secciones delgadas corresponden a residuos de órganos y tejidos vegetales moderadamente preservados en el horizonte superficial. El grado de preservación aumenta en profundidad. Se han identificado secciones transversales de raíces finas de contorno reconocible, restos de tejidos parenquimáticos y lignificados de contorno indefinido junto con material orgánico fino y pigmentos orgánicos. Las raíces de estepa herbácea y cereales aportan una alta proporción a la biomasa de este suelo. Son

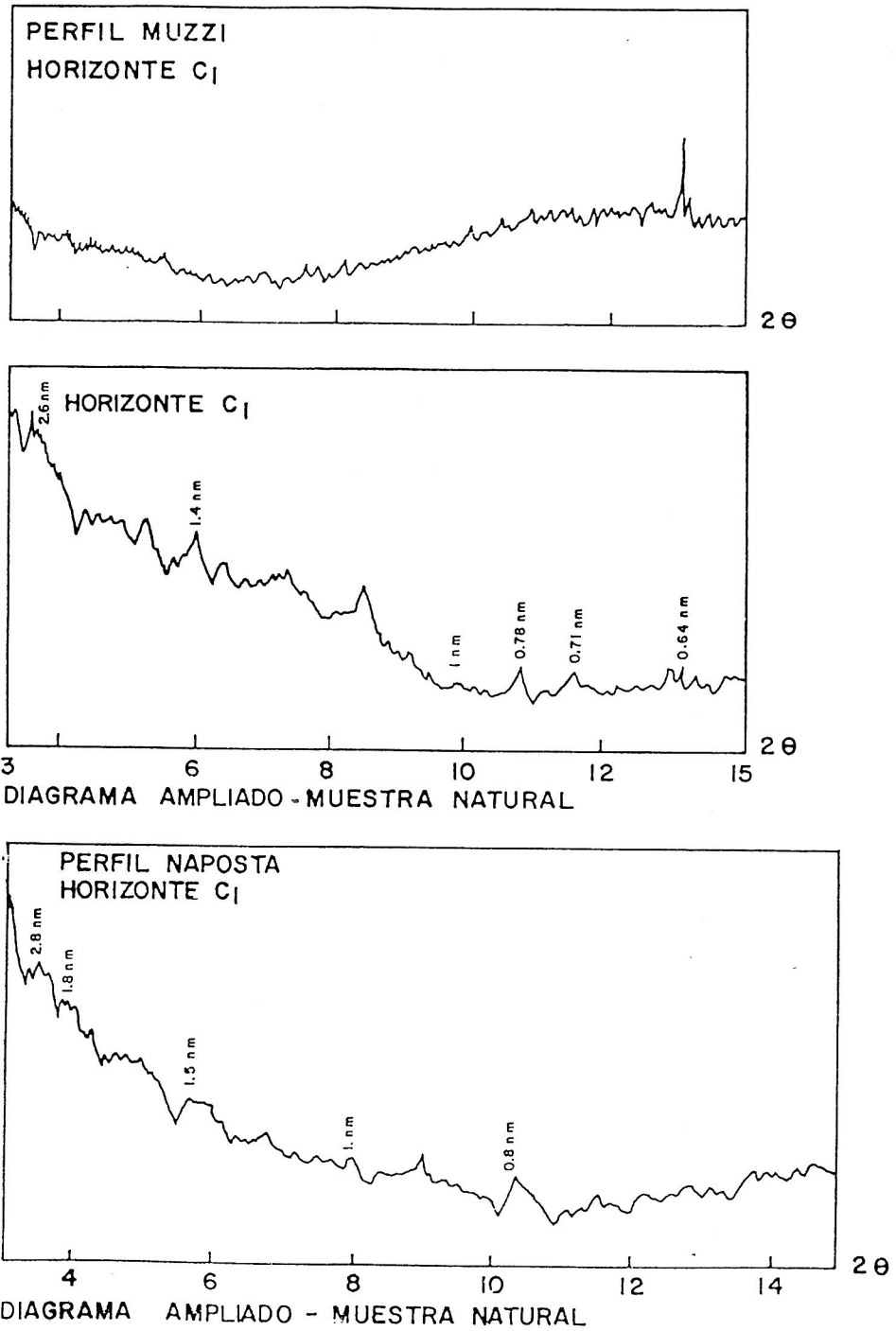


Fig. 4. Difractogramas seleccionados de la fracción arcilla

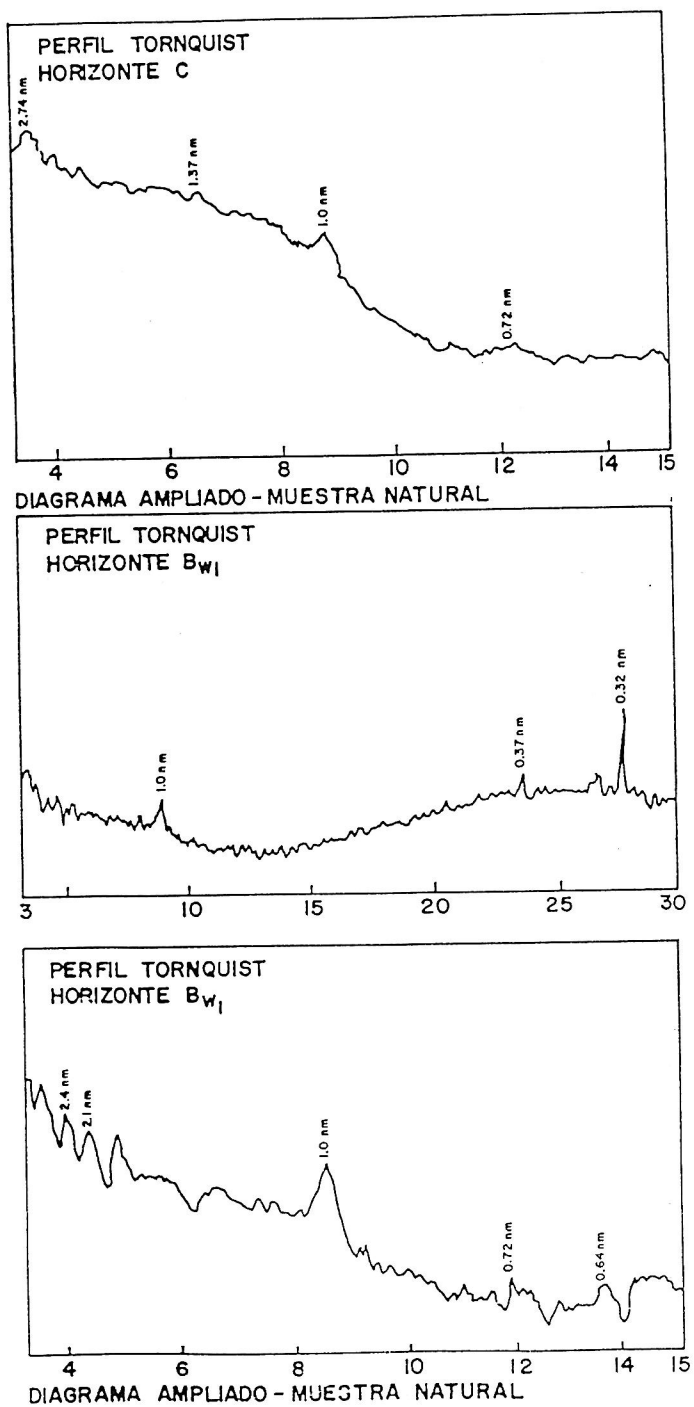


Fig. 5. Difractogramas seleccionados de la fracción arcilla

descompuestas y transformadas en ácidos orgánicos que impregnan fuertemente el material fino de horizontes superficiales generando b-fábricas indiferenciadas. En el horizonte Ap se han identificado restos carbonados.

Según Runge (1973) la producción de materia orgánica es el vector renovador del suelo y el agua disponible para el lavado el vector que promueve el desarrollo edáfico. La velocidad de descomposición influye tanto en el balance transformación-acumulación, como en el desarrollo mismo a causa del proceso de agregación de partículas individuales en microunidades estructurales y macropeds. En el perfil Muzzi la actividad microbiana y de lombrices es sostenida por la adición de materia orgánica que determina la mezcla íntima de partículas orgánicas e inorgánicas y conduce a su macro y microestructuración. El desarrollo de rasgos edáficos excrementales comunes en este perfil evidencia que la transformación de los residuos se produce en un ambiente edáfico bien aireado, en el cual la actividad de la micro y mesofauna es estimulada por un adecuado nivel de oxígeno que sostiene las características oxidantes.

La distribución relacionada es enaúlica en los horizontes Ap-AC-C1 y porfírica cerrada en el horizonte Ck2. Los rasgos edáficos más notables son:

-excrementales: frecuentes (15-30%) pellets de Oribátidos, comunes (30-50%) de lombrices, elipsoidales, lisos, finos (20-50 $\mu$ m, 60-100 $\mu$ m), relleno de poros y también en la matriz, de naturaleza organo-mineral con material fino amorfo, coalescentes o aislados.

-cristalinos: son comunes en el horizonte cálcico y aumentan su frecuencia en el horizonte petrocálcico a causa de una invasión total de la matriz y de la cementación continua por el carbonato de calcio. Se observan diferentes rasgos de neoformación como frecuentes revestimientos de calcita micrítica fuertemente empaquetada, de calcita densa y de formas tubulares (10 $\mu$ m) de microcalcita. Son comunes los rellenos de calcita acicular en canales y vughs de los horizontes cálcico y petrocálcico y

frecuentes nódulos típicos de microcalcita densa y nucleicos con núcleo de granos minerales en la matriz.

- de fábrica: arqueados con aspecto creciente, comunes en la matriz de los horizontes Ap y AC producto del tránsito de la fauna.

-amorfos: nódulos típicos y pseudomorfos de hierro y manganeso, finos (50- 100 $\mu$ m), color pardo oscuro a rojizos, escasos en los horizontes Ap y AC, comunes en horizontes Ck2 y 2Ckm3 indicadores de hidromorfismo estacional causados por permeabilidad restringida por la capa de tosca.

El perfil Napostá tiene una macroestructura grano simple dominante, porque el horizonte superficial ha resultado «pulverizado» por las labores de arada, hasta migajosa ultrafina a muy fina, moderada a débil en el horizonte Ap, blocosa subangular, fina a muy fina hacia el horizonte AC, hasta fina a media, fuerte, rugosa, no acomodada en el horizonte C1. La b-fábrica es isotrópica y la distribución relacionada gefúrica, enaúlica desde el top-soil hasta el material parental. No existen diferencias cualitativas en los constituyentes minerales, con respecto al perfil anterior. Se observan escasos residuos de órganos y tejidos, escasos restos de raíces muy finas, frescas, birrefringentes bien a moderadamente preservadas y pigmentos húmicos de color pardo, pardo oscuro a rojizo, la ocurrencia de rasgos edáficos se limita a:

-excrementos de Oribátidos abundantes (horizonte Ap) a escasos (horizonte AC y C1) como rellenos sueltos, continuos en microporos, producto de translocación biológica.

-amorfos: comunes nódulos típicos de óxidos de hierro, esféricos a ovoideos, finos a muy finos de color negro y pardo rojizo cuya frecuencia aumenta hacia el horizonte C1 subyacente.

La contextura de birrefringencia, la distribución relacionada y el limitado número de rasgos edáficos son consistentes con la textura uniforme franco arenosa del sedimento, con un bajo porcentaje de arcilla y con la posición inestable en la topografía ondulada del piedemonte sometido a fugas y aportes de ma-

teriales. El control textural y topográfico inhiben la ocurrencia de procesos edáficos indicadores de mayor evolución, como por ejemplo la ilimerización. De todos modos, se identificaron escasos (aproximadamente 5%) y delgados coatings de arcilla, revistiendo cavidades, huecos de empaquetamiento y paredes de canales, evidenciando una iluviación muy débil.

Hacia el extremo proximal de la Llanura Subventánica, el perfil Tornquist evoluciona en una posición topográfica plana estable, la textura es más fina y el régimen de humedad de suelos es údico. Aunque se verifican condiciones que propiciarían la iluviación de arcilla, no se observa el desarrollo de un horizonte argílico. La secuencia de horizontes es A1-Bw1-Bw2-C1-2Ckm2. Este perfil presenta una microestructura en bloques subangulares y angulares, medios, fuertes con tendencia migajosa en el horizonte Ap y finos en horizontes subsuperficiales.

Los constituyentes gruesos son similares a los perfiles anteriores. La micromasa es arcillohúmica de color pardo oscuro a pardo rojizo en el horizonte Ap, pardo rojizo en el Bw y pardo muy oscuro en el C. en cuanto a los constituyentes orgánicos predominan los pigmentos húmicos sobre los restos orgánicos gruesos. Sólo se observan escasos residuos de raíces y tejidos birrefringentes en el horizonte Ap. La contextura de birrefringencia es indiferenciada en el horizonte A1 a causa de la pigmentación con materia orgánica, moteada y en mosaico en el Bw1 a moteada y granoestriada en el Bw2 y en el C, con una distribución relacionada porfírica abierta en los horizontes Ap y Bw1, chitónica en el Bw2 y enáulica con dominios de chitónica en el C. Se identificaron los siguientes rasgos edáficos: -amorfos: nódulos típicos, finos, puros, esféricos e irregulares de óxidos de hierro y manganeso, color pardo oscuro a pardo rojizo en todos los horizontes y con mayor frecuencia en el horizonte C.

-excrementos: pellets fecales muy finos, débilmente coalescentes como rellenos sueltos y discontinuos en poros y en restos de tejidos orgánicos en los horizontes Ap y Bw.

Los microrasgos comunes a los tres perfiles son los excrementales y los amorfos en la base del perfil. La producción de excrementos y la buena microestructuración por una intensa actividad de la micro y mesofauna generan un epipedón móllico en los tres perfiles. Los nódulos sesquioxídicos, cuya frecuencia aumenta hacia los horizontes C, son evidencia de recientes períodos de hidromorfismo del ciclo pedogenético actual causados por la presencia del horizonte petrocálcico subsuperficial, laminar y masivo, originado a partir de la impregnación total de la masa del suelo por invasión del carbonato de calcio. La permeabilidad estaría limitada a las zonas de fracturas, creándose temporalmente condiciones de drenaje interno restringido. Se trata de nódulos desarrollados in situ, cuyo origen se explica por una movilización de la solución del suelo dentro del mismo horizonte y en menor escala por un leve transporte vertical (Imbellone y Zárata 1983).

## CONCLUSIONES

La superposición de un manto de sedimentos loessicos de edad Holoceno, en clara discontinuidad temporal sobre la capa de tosca (horizonte petrocálcico) de edad Plio-Pleistoceno determinan una relación suelo-estratigrafía similar en los perfiles estudiados. El horizonte petrocálcico constituye una paleosuperficie relicto de un suelo fósil formado en un paleoclima árido y frío. El loess es inicialmente calcáreo y la fuente de aporte del carbonato de calcio es el polvo eólico troposférico. Los sedimentos estudiados califican como loess arenosos y el análisis cuantitativo de los minerales livianos y pesados de la fracción arena, así como la mineralogía de las fracciones arcilla y limo indican similitud en cuanto al origen y diferencias porcentuales en cuanto a las especies reconocidas. A pesar de las diferencias cuantitativas registradas entre el horizonte cálcico y los suprayacentes del perfil Muzzi, no es posible confirmar una disconti-

nidad litológica a esa profundidad. La fracción limo se compone de minerales primarios como mica, feldespatos, cuarzo, piroxeno ó anfíbol y minerales arcillosos interestratificados. En las situaciones estudiadas, la composición de la fracción arcilla es heredada del material loessico, así como de procesos edáficos de transformación.

De acuerdo a los análisis intrapedónicos de distribución por tamaño de partículas de los horizontes, y considerando la similaridad entre las curvas acumulativas de cada horizonte y de sus parámetros sedimentarios, los materiales son homogéneos y derivan de una misma fuente de aporte. La heterogeneidad se manifiesta en la distribución espacial y las mayores diferencias texturales se observan entre perfiles. Las diferencias en la asimetría de las curvas por distribución por tamaño de partículas (positiva-perfil Muzzi; negativa-perfil Tornquist) se explican por la variabilidad textural determinada por la dinámica eólica y las fluctuaciones de energía afectadas por factores de selección local, durante los sucesivos ciclos de sedimentación y removilización episódica de las partículas sedimentarias.

Por otra parte cuando se comparan los parámetros edáficos con respecto al material parental y las morfologías intra e interperfiles, se concluye que los procesos de intensidad moderada de actividad biológica, formación de estructura, melanización, concentración secundaria de carbonato de calcio e hidromorfismo en la base de los perfiles acentúan la magnitud de las relativas diferencias identificadas. La melanización, opuesta a la leucinización tiende al oscurecimiento de estos suelos, a la producción de abundantes rasgos excrementales, a la descomposición rápida de los residuos orgánicos frescos y a la formación de complejos arcillo-húmicos con construcción de macro y microagregados en un humus de tipo mull.

En general, en el área de estudio, los procesos edafogenéticos moderadamente expresados están determinados por la combinación de los factores clima-edafoclima (údico-ústico),

topografía (plana estable -sectores proximal y distal; ondulada en el sector medio del piedemonte) y material parental (textura franco limosa-perfil Muzzi; franco arenoso-perfil Napostá; franco limoso a franco arcillolimoso -perfil Tornquist). La coexistencia de suelos con diferencias en cuanto al grado de organización de los macro y microrasgos edáficos, de su secuencia de horizontes, de horizontes diagnósticos y distribución del carbonato de calcio se atribuyen al impacto del factor temporal. La depositación mantiforme del material parental loessico correspondería al tiempo inicial de formación de estos suelos. No se observa lixiviación del carbonato de calcio heredado en el perfil Napostá, sólo una leve removilización dentro del perfil en función del escaso tiempo de evolución, insuficiente para generar un horizonte subsuperficial de acumulación secundaria o para su total lixiviación. El lavado del calcáreo es total en el sector N de la Llanura Subventánica (sector proximal-perfil Tornquist) y la calcificación secundaria por redistribución pedogénica es pronunciada al S de la misma generándose el horizonte cálcico (sector distal-perfil Muzzi). Aquí, los macrorasgos determinados por este proceso son: pseudomicelios, fuerte reacción efervescente y fuertes concreciones de carbonato de calcio. A escala microscópica se observa una contextura de birrefringencia cristalítica, cutanes de calcita micrítica, infillings de calcita acicular y nódulos típicos o nucleicos de calcita micrítica. Los distintos contenidos de carbonato de calcio en los perfiles estudiados constituyen un indicador de la relación edafogénesis, clima-paleoclima, tiempo de evolución. Aún cuando no es posible a partir de las interpretaciones de las características macro y micromorfológicas, atribuir una edad numérica concreta a los perfiles estudiados, es factible explicar el moderado desarrollo, las diferencias en sus secuencia de horizontes, la variabilidad espacial del calcáreo desde su persistencia en todo el espesor del suelo hasta la ausencia total, como respuesta diferencial a los procesos pedogenéticos en función del tiempo de exposición durante su historia evolu-



tiva, constituyendo consecuencias lineares en las cuales la dinámica del carbonato difiere entre puntos de observación relativamente cercanos.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SeCyT de la Universidad Nacional del Sur por otorgar el subsidio para desarrollar este proyecto, al Dr. P. Maizza por la obtención de los difractogramas y al Sr. R. Correa por la colaboración en las tareas de campo.

### BIBLIOGRAFIA

- ALTEMULLER, H.J. 1962. Verbesserung der einbettung und scheleiftchnik bei der herstellung von bodendünnschiffen mit vepoal ztsch. Pflazenernahrung, Dungung, *Bodenkunde* 99.
- AMIOTTI, N., BLANCO, M. DEL C., SANCHEZ, L. 1997. Anomalías pedogenéticas debidas a sedimentación eólica diferencial en microambientes de la región semiárida argentina. Inédito.
- BIDART, S. 1992. Caracterización textural de los sedimentos eólicos en el area de la sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. *Simposio Internacional sobre loess: características, cronología y significado paleoclimático del loess*. 43-47. Mar del Plata. Argentina.
- BLANCO, M. DEL C. & SANCHEZ, L. F. 1992. Parámetros sedimentarios de algunos suelos del Suroeste Pampeano, Argentina. *Turrialba*. 42, (4): 430-437.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, F., JONGERIOUS, A., STOOPS, G. TURSINA, T. 1985. *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications. England. 151p.
- DARWIN, CH. 1846. Geological observations in South America. London.
- FAO. 1990. *Soil Map of the world*. Revised legend. World Soil Resources. Report N° 60. UNESCO. Rome. 119p.
- FRENGUELLI, J. 1925. Limos y loess pampeanos. Universidad Nacional de La Plata. *Serie Técnica y Didáctica* 7: 1-88. La Plata. Argentina.
- FIDALGO, F., DE FRANCESCO, F., PASCUAL, R. 1975. Geología superficial de la Llanura Bonaerense. Relatorio de la Geología de la Prov. de Buenos Aires. *VI Congreso Geológico Argentino*. Bahía Blanca.
- FOLK, R. L. & WARD, W.C. 1957. Brazos River Bar. A study of grain size parameters. *J. Sed. Petrology* 27: 2-26.
- GONZALEZ URIARTE, M. 1984. Geomorfología de la porción continental que rodea a la Bahía Blanca, Pcia. de Buenos Aires. IX Congreso Geológico Argentino. *Actas*. T.III. 557-576. Bariloche. Argentina.
- IMBELLONE, P. & ZÁRATE, M. 1983. Glébulas sesquioxídicas en un Argialboll, General Mansilla, Provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*. 1 (2):73-82.
- LUTERS, J. A. 1982. *Edafogénesis de la climosecuencia existente entre el SE de la Provincia de La Pampa y el Litoral Atlántico*. Tesis Magister. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.
- MARKEWICH, H. W., PAVICH, M.J., BUELL, G.R. 1990. Contrasting soils landscapes of the piedmont of the Coastal Plain, Eastern United States. Soils and lanscape evolution. *Proceedings of the 21 st. Binghampton Symposium in Geomorphology*. Kneuffer, P.L. y Mc Fadden Editors. 449-470.
- MC DONALD, E.V. & BUSACCA, A.J. 1990. Interaction between aggrading geomorphic surfaces and the formation of a Late Pleistocene paleosol in the Palouse loess of eastern Washington State. Soils and landscape evolution. *Proceedings of the 21 st. Binghampton Symposium in Geomorphology*. Kneuffer, P.L. y Mc Fadden Editors. 449-470.
- MORRÁS, H. 1985. Estado actual de la mineralogía y micropedología de suelos de

- la región Pampeana Norte, con referencia particular a la Provincia de Santa Fe. *Actas. I Jornadas Regionales de Suelos de la Región Pampeana Norte*.
- Pazos, S. 1981. *Micropedology and Mineralogy of the sand fraction of some Mollisols of Argentina*. Ms Thesis. ITC. University Gent. Belgium. 110p.
- Quattrochio, M., Borromei, A. & Grill, S. 1995. Cambios vegetacionales y fluctuaciones climáticas durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). VI Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. *Actas*:221-229. Trelew. Argentina.
- Runge, E. 1973. Soil Development and Energy models. *Soil Science*. **115**: 183-193.
- Rabassa, J. 1989. Geología de los depósitos del Pleistoceno Superior y Holoceno en las cabeceras del río Sauce Grande, prov. de Buenos Aires. I Jornadas Geológicas Bonaerenses. *Actas*:765-790. Tandil. Argentina.
- 1990. Late Pleistocene and Holocene loess deposits in the upper Sauce Grande River Basin, Sierra de la Ventana. Simposio Internacional sobre loess. Mar del Plata. Argentina. Extended Abstracts. 84-88.
- Scoppa, C. 1974. *The pedogenesis of a sequence of Mollisols in the Undulating Pampa, Rca. Argentina*. Ph. D. Thesis. University Gent. Belgium
- Soil Survey Staff. 1996. *Keys to Soil Taxonomy*. Seventh Edition. USDA: 643p.
- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of the Argentinian loess. *J. of Sedimentary Petrology*. **27**:3.
- Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Plan Mapa de Suelos de la región Pampeana. INTA: Colección Científica.
- Tonkin, P.J. & Basher, L.R. 1990. Soil-stratigraphic techniques in the study of soil and landform evolution across the Southern Alps, New Zealand. Soils and landscape evolution. *Proceedings of the 21 st. Binghampton Symposium in Geomorphology*. Kneuffer, P.L. y Mc Fadden Editors. 547-575.
- Teruggi, M. & Imbellone, P. 1983. Perfiles de estabilidad mineral en suelos desarrollados sobre loess de la región Pampeana Septentrional. *Ciencia del Suelo* **1** (1):65-74.
- Zárate, M., & Blassi, A. 1990. Consideraciones sobre el origen, procedencia y transporte del loess del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. *Simposio Internacional sobre loess: características, cronología y significado paleoclimático del loess*. 15-20. Mar del Plata. Argentina.