

RECONSTRUCCION DE LA EVOLUCION GEO-PEDOGENETICA EN UNA TOPOSECUENCIA DEL SUDOESTE PAMPEANO

M del C BLANCO¹, N AMIOTTI¹, J AGUILAR RUIZ²

¹ Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, (8000) Bahía Blanca. e-mail: mcblanco@criba.edu.ar

² Depto. de Edafología y Química Agrícola, Fac. de Ciencias, Univ. de Granada, Granada, España.

Recibido 15 de noviembre de 2002, aceptado 3 de octubre de 2003

RECONSTRUCTION OF THE GEO-PEDOGENETIC EVOLUTION IN A TOPOSEQUENCE OF THE SOUTHWESTERN PAMPEAN REGION

In the southwestern Pampean region, the variability in soil spatial distribution is clearly related to soil landscape position and soil characteristics reflect the geo-pedogenetic evolution. Our hypothesis suggests that the great climatic changes, as those between the Pleistocene and the Holocene, are detected in the soils architecture even in stable landforms. The unstable geomorphic surfaces are more sensitive and the associated soils reflect the small climatic changes occurred in the Holocene. The objectives of this paper were: 1) to correlate soil parent materials to geologic formations, 2) to present the soils' mineralogy, macro and micromorphology to identify features indicative of polygenesis, 3) to explain the geo-pedogenetic history based in the morphogenesis-pedogenesis balance to interpret the evolutionary trend during the Holocene. The study area is located in Paraje Puente Canesa, in the A^a Napostá Grande basin. A toposequence has been selected and chemical, mineralogical and micromorphological analysis were performed to discuss time and spatial variability of soil forming factors. A buried paleosol, developed in alluvial sediments underlying the recent aeolian sediments has been identified in the alluvial terraze. This geosol differs from the surface soils in their macro-microcharacteristics and chemical properties, and correspond to a soil-climate episode of the Holocene more humid than present. However, in the soils of the stable landforms, pedofeatures associated to minor climatic oscillations occurred during the Holocene sub-epochs have not been detected. The type, origin and age of parent materials or landscape position have not strongly influence the clay fraction mineralogy. Soil parent materials have been correlated with Saavedra Formation (Muzzi Soil), with Matadero Saldungaray Formation (Canesa Soil 1 and upper section of Canesa Soil 2) and with Agua Blanca Formation-Limo Arenoso Superior member (lower section of Canesa Soil 2). A geo-pedogenetic history related to the different climatic phases of the Holocene sub-epochs has been proposed-

Key words: toposequence, geo-pedogenesis, climate/paleoclimate, Holocene

INTRODUCCION

La variabilidad espacial de los suelos es inherente a la complejidad del paisaje (Gerrard 1990) y la posición que ocupa cada suelo, su morfología y propiedades individuales, reflejan las características de su evolución geo-pedogenética. La cobertura pedológica del sur de la Llanura Pampeana presenta heterogeneidad espacial desde los sectores planos predominantes en el paisaje, hacia los relieves inclinados de las laderas y planos subnormales de terrazas y llanuras de inundación de los ríos y arroyos que disectan la región (Sánchez, Amiotti 1991). En la Llanura Subventánica Occidental Bonaerense, la variabilidad espacio-temporal de los factores

formadores tales como: la litología, el clima y la vegetación asociada en la planicie, la inestabilidad de la geoforma en posición de ladera y la superposición de sedimentos eólicos y aluviales en los suelos yuxtapuestos de las terrazas aluviales inciden en la pedogénesis y explican las relaciones existentes entre los suelos de las distintas facetas del paisaje. La correlación estratigrafía-materiales constitutivos de los suelos permite una mejor comprensión de la vinculación entre las características edáficas y la evolución de las geoformas asociadas. Sin embargo, debido a la anarquía nomenclatural en la denominación de formaciones del Cuaternario de la provincia de Buenos Aires, existen dificultades para

homologar los materiales parentales de los suelos a una formación geológica determinada. Esta problemática es más notable en las planicies interfluviales donde sedimentos de similar posición estratigráfica y características litológicas idénticas se han designado con nombres formacionales diferentes para cada localidad estudiada.

En los ambientes aluviales, como consecuencia de los ajustes internos de la cuenca a las fluctuaciones climáticas y/o perturbaciones tectónicas, es frecuente la existencia de suelos poligénicos con horizontes enterrados cuyas características han sido adquiridas durante períodos de estabilidad prolongada. Cambios climáticos de gran envergadura como el ocurrido entre el Pleistoceno y el Holoceno dejan su impronta en los suelos independientemente de la estabilidad de la superficie en la que ellos evolucionan. Ante oscilaciones de menor intensidad como las descritas para las distintas sub-épocas del Holoceno en la zona de estudio, los suelos de los ambiente más estables solo muestran readaptaciones débiles, a veces imperceptibles, a las diferentes condiciones medioambientales. En cambio, las superficies geomórficas inestables son más sensibles y sus suelos reflejan con mayor claridad los diferentes eventos pedogenéticos del Holoceno.

Los objetivos de este trabajo tendientes a dilucidar la hipótesis planteada son: 1) homologar los materiales parentales a las formaciones geológicas del sudoeste de la región Pampeana, 2) presentar la micromorfología y composición mineral de las fracciones finas de los suelos para interpretar la tendencia evolutiva durante el Holoceno y discutir la ocurrencia de los procesos resultantes de la policiclicidad pedogenética y, 3) reconstruir la historia geo-pedogenética en función del balance morfogénesis-pedogénesis en las distintas geofomas estudiadas.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se ubica en el paraje denominado Puente Canesa (Hoja Estación Corti 3963-11- 4, IGM), situado en el sector distal de la Llanura Subventánica Occidental Bonaerense, aproximadamente a 20 km al NE de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires (Figura 1).

Desde el punto de vista geomorfológico el área está inserta en el dominio morfoestructural Positivo de Ventania (Gonzalez Uriarte 1984). Los interfluvios conforman las superficies planas del Nivel de Planación General en la que evolucionan los suelos zonales de la región de Bahía Blanca. El valle del Arroyo Napostá Grande disecta el extremo distal de este nivel y a la altura del Paraje Puente Canesa, está conformado por una terraza aluvial que presenta un abarrancamiento profundo en su cauce.

El clima atmosférico es semiárido templado. La precipitación media anual es 615 mm, la evapotranspiración potencial es 770 mm y la temperatura media anual es 15.5 °C El edafoclima es ústico - térmico. La vegetación natural constituida por una estepa gramínea con un alto porcentaje de cobertura, ha sido reemplazada en su mayor parte por cultivos de cereales de invierno.

Los suelos fueron muestreados a lo largo de una toposecuencia que incluye la planicie de interfluvio (Suelo Muzzi: S 38° 40' 43.9", W 62° 6' 42.6"), la ladera del valle (Suelo Canesa 1: S 38° 35' 21.4", W 62° 5' 19.7") y la terraza aluvial del Arroyo Napostá (Suelo Canesa 2: S 38° 35' 28.8", W 62° 5' 15.7"). Se describieron de acuerdo al Soil Survey Manual (Soil Survey Staff 1991) y se clasificaron según Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 1999). Se tomaron muestras disturbadas para análisis de laboratorio y mineralógicos y muestras no disturbadas para el estudio micromorfológico de cada horizonte de la secuencia completa de los perfiles seleccionados. Las secciones delgadas se describieron según Bullock *et al.* (1985). Sobre las muestras disturbadas se determinó: pH (1:2.5 en agua y CIK 1N), carbono orgánico (Walkley y Black) y CIC (acetato de amonio 1N). Para el estudio mineralógico de las fracciones <1 µm, < 2 µm y 2 - 50 µm de los suelos Muzzi y Canesa 2 las muestras se trataron con citrato de sodio-bicarbonato de sodio-ditionito de sodio para efectuar la remoción de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Luego, se aplicó tratamiento con hidróxido de sodio 0.5 M para eliminar los aluminosilicatos pobremente cristalinos. Las muestras pre-tratadas se suspendieron en agua y se extrajo una pequeña cantidad sobre la que se efectuó difracción de rayos X con un difractómetro equipado con monocromador de grafito y anticátodo de Cu operando a 35kV y 15mA. Se produjeron difractogramas sobre las muestras pretratadas y con posterior saturación con glicol.

RESULTADOS Y DISCUSION

Edad de los depósitos y correlación estratigrafía-suelo

El perfil esquemático de la relación estratigrafía-suelo en la toposecuencia estudiada se presenta en la Figura 2. Los planos

interfluviales están tapizados con un manto de sedimentos loésicos calcáreos de origen eólico que corresponden a la sección del Holoceno de la columna estratigráfica y que suprayacen en discordancia erosiva la pre-existente capa de tosca (horizonte petrocálcico) de edad Plio-Pleistoceno. Estos sedimentos eólicos han sido

alternativamente designados como Formación La Postrera (Fidalgo *et al.* 1975) ó Formación Junín (De Salvo citado por Consejo Federal de Inversiones 1975) y más recientemente como Formación Saavedra (Rabassa 1989). Esta última ha sido reconocida en los tramos más superficiales de las secuencias estratigráficas de

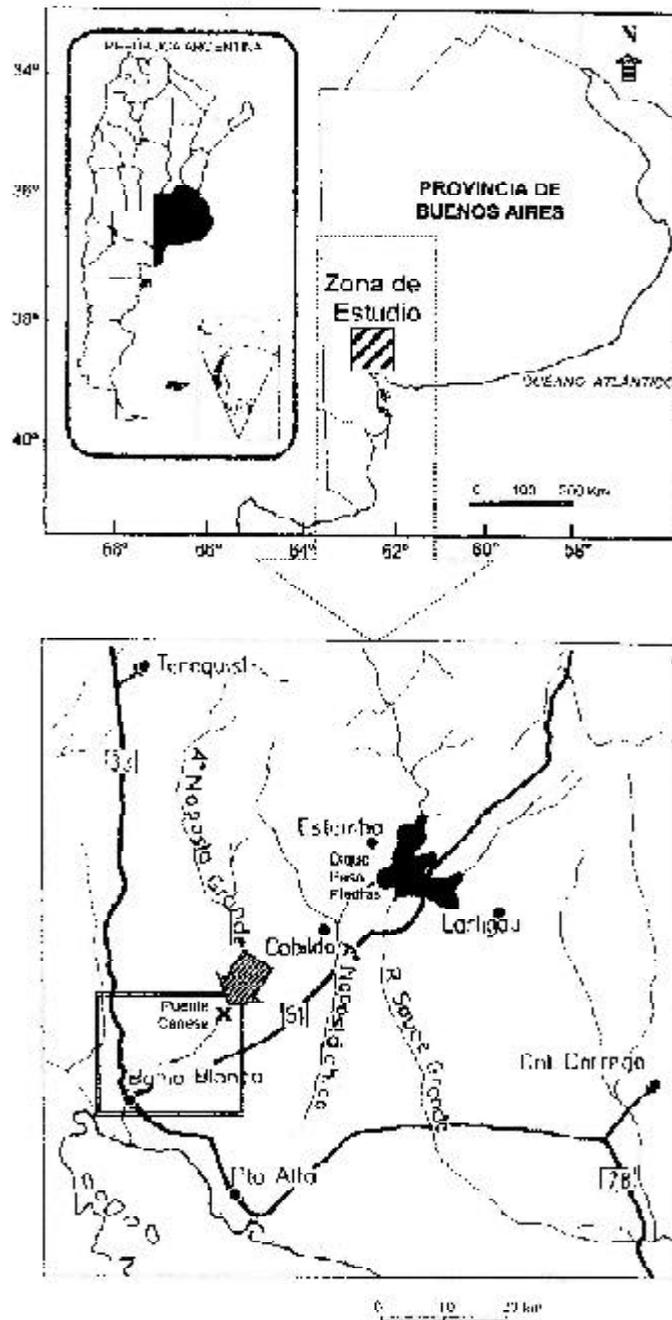


Figura 1. Localización del área de estudio.
Figure 1. Location of the study area.

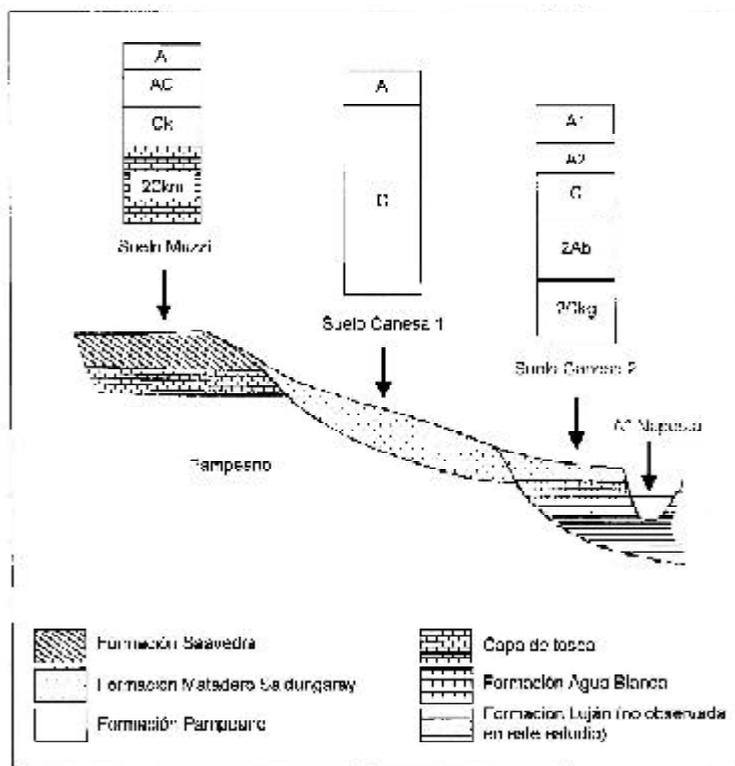


Figura 2. Perfil esquemático de la relación estratigrafía-suelo en el Valle del A° Napostá, en Puente Canesa (prov. de Buenos Aires)

Figure 2. Schematic profile of the soil-stratigraphy relationship in A° Napostá Valley, in Puente Canesa (Buenos Aires Province).

las divisorias de aguas en distintas posiciones dentro de la cuenca del Río Sauce Grande (Bidart 1992; Borromei 1988) así como en la planicie de interfluvio de la cuenca Media del A° Napostá Grande (Grill 1993). Siguiendo a Rabassa (1989), el material parental de los suelos de los planos de interfluvio (Suelo Muzzi) se ha asignado a la Formación Saavedra-Miembro Superior de edad Holoceno.

En la terraza aluvial del Valle del A° Napostá Grande, la estratigrafía de la sección se inicia con los sedimentos aluviales de la Formación Agua Blanca-Miembro Arenoso Medio (Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano), los cuáles se depositaron sobre un sustrato de materiales pefíticos Plio-Pleistocenos en condiciones de clima árido frío (Rabassa 1989; Grill 1993). La secuencia continúa con los depósitos de la Formación Agua Blanca-Miembro Limo Arenoso Superior (Holoceno Medio) que culminan con un paleosuelo (Grill 1993). La columna estratigráfica finaliza en discordancia con los sedimentos de textura gruesa y de

origen eólico de la Formación Matadero Saldungaray depositados durante el Holoceno Tardío hasta el Presente. En la secuencia de suelos poligénicos de la terraza aluvial (Suelo Canesa 2), los materiales parentales del suelo sepultado son asignados a la Formación Agua Blanca-Miembro Limo Arenoso Superior. El suelo actual suprayacente desarrolla en los sedimentos de la Formación Matadero Saldungaray los que también tapizan la ladera del valle (Suelo Canesa 1).

Características morfológicas de los suelos estudiados

La descripción macromorfológica de los suelos estudiados se presenta en la Tabla 1. Los suelos zonales (Suelo Muzzi), clasificados como Paleustoles Petrocálculos, tienen secuencia de horizontes A-AC-Ck-2Ckm. Presentan un horizonte A de 19 cm, oscuro (10YR2/2 húmedo), con evidencias de una fuerte actividad biológica y bien estructurado en bloques subangulares. El solum se presenta

Tabla 1. Descripción morfológica de los suelos estudiados
Table 1. Morphological description of the studied soils

Horizonte	Profundidad (cm)	Color (húmedo)	Textura	Estructura	Límite	CaCO ₃	Formaciones Especiales
Planicie de Interfluvio: Suelo Muzzi (Paleustol Petrocálcico)							
A	0-19	10YR2/2	Frlí	bs; m; mo	ab; pl	-----	Abundantes pellets fecales coalescentes-
AC	19-38	10YR3/2	Frlí	bs;m-gr; mo- de	cl; pl	-----	Comunes pellets fecales coalescentes-
C	38-50	10YR4/3	Frlí	bs;m-fi; d	ab; pl	-----	-----
Ck	50-80	7.5YR6/4	Frlí	bs;m-fi; d-mo	ab; pl	xxx	pseudomicelios, calcitanes y nódulos de CaCO ₃ .
2Ckm	80+	Horizonte petrocálcico					
Ladera de Valle: Suelo Canesa 1 (Ustortent Típico)							
A	0-24	10YR3/2.5	Frar	bs;m;md	gr; pl	-----	-----
C	24-150+	10YR3/3	Frar	grs	No se observa	x	-----
Terraza de Valle: Suelo Canesa 2 (Ustifluent Típico)							
A1	0-45	10YR3/3	Frar	bs;m;md	ab; pl	x	-----
A2	45-65	10YR3/2.5	Frar	bs;m;d	ab; pl	ve	-----
C	65-87	10YR3/3	Arfr	grs	gr; pl	-----	Comunes pellets fecales
2Ab	87-145	10YR2/1	Frarcli	bs; fi; mo	gr; pl	xxx	Abundantes pellets fecales. Comunes nódulos de Fe y Mn
2Ckg	145-190	2.5Y6/2	Frarcli	bs; m; d-mo	No se observa	xxx	Abundantes nódulos de Fe y Mn

Textura: Frlí: franco limoso; Frar: franco arenoso; Arfr: arenoso franco; Frarcli: franco arcillo limoso;
Estructura: bs :bloques subangulares; grs: grano simple; m: medios; fi: finos; gr: gruesos, mo: moderados;
d: débiles; md: muy débiles **Límite:** ab: abrupto; cl: claro; gr: gradual; pl: plano;
CaCO₃: reacción al HCl 10%: ve: muy leve x: leve; xxx: fuerte

decalcificado, la reacción al HCl es fuerte en el horizonte Ck donde los rasgos de concentración secundaria de calcita están fuertemente expresados en una secuencia de acreción creciente desde carbonato blando en la matriz, hiporevestimientos, revestimientos, hasta nódulos y concreciones. El horizonte petrocálcico (2Ckm) se identifica, en clara discontinuidad temporal, a los 80 cm de profundidad. Las características del clima, el material parental loésico, la estabilidad de la superficie geomórfica y la importante actividad biológica son los factores formadores determinantes de los procesos de melanización y estructuración. La génesis del horizonte Ck a escasos 50 cm de profundidad se vincula a la presencia de la capa de tosca que actúa res-

tringiendo la libre percolación de la solución del suelo.

El suelo de la ladera (Suelo Canesa 1), clasificado como Ustortent Típico, presenta un perfil simple, de tipo A-C, textura gruesa uniforme, estructura muy débil y lavado incipiente de carbonato de calcio que afecta sólo al horizonte A.

El suelo azonal de la terraza aluvial (Suelo Canesa 2), clasificado como Ustifluent Típico, se ha desarrollado en una secuencia sedimentaria constituida por materiales aluviales en la base a los que se yuxtaponen materiales de origen eólico en clara discontinuidad litológica; el perfil es más complejo e incluye un suelo sepultado (A1-A2-C-2Ab-2Ckg). La distribución de carbono orgánico

Tabla 2. Mineralogía de arcillas en las fracciones <1-mm, <2-mm y 20-50 mm de los suelos Muzzi y Canesa 2
 Table 2. Clay Mineralogy in the <1-mm, <2-mm and 20-50 mm fractions of Muzzi and Canesa 2 soils

HORIZONTE	FRACCIÓN	I	I/S	Ch	Ch/Sm	Sm	V	MINERALES ACCESORIOS
Planicie de Interfluvio: Suelo Muzzi								
A	<1 µm	x	x		x	x		Qz; Tr; F; A; a; He; Ap
	<2 µm	x	x		x			F; A; a; Ap
	20-50 µm	x	x					Qz; F; Px/Am
AC	<1 µm		x		x	x		F; A; a
	<2 µm	x	x		x	x		Qz; F; Ca; A; a
	20-50 µm	x						Qz; F; A; a
C	<1 µm	x	x		x	x		Qz; F; Ca; Ap; II
	<2 µm	x	x			x	x?	Qz; F; A; a; Ca; Ap
	20-50 µm	x						Qz; F
Ck	<1 µm		x	x	x	x		Qz; F; A; a; Ca; Ap; Cr; Px
	<2 µm	x	x			x		Qz; F; A; a; Do; Ca; Ap; He
	20-50 µm	x	x					Qz; F; Ca
Terraza de Valle: Suelo Canesa 2								
A1	<1 µm		x			x		F; Qz; A; a; Ca
	<2 µm	x	x	x		x		F; Qz; a; A
	20-50 µm	x						Tr; Qz; F; a; A; He
A2	<1 µm	x	x					F; a; A; Qz; Ca
	<2 µm	x	x		x	x		F; Qz; a; A; Ca; Am
	20-50 µm	x						F; Qz; a; A; Ca; Am
C	<1 µm	x	x		x			F; Qz; a; A
	<2 µm		x			x		F; Qz; a; A
	20-50 µm	x						F; Qz; a; A; Am
2Ab	<1 µm	x	x					Mi; Qz; Ca; Ap; Cr
	<2 µm	x	x			x		F; Qz; a; A; Ca; Y?; Px; Go
	20-50 µm	x				x?		Qz; F; a; A; Ca

Minerales Arcillosos: I: illita; I/S: illita/esmectita; Ch: clorita; Ch/Sm: clorita/esmectita; V: vermiculita; Minerales accesorios: Qz: cuarzo; Px: piroxeno; Am: anfíbol (hornblenda); A: anortita; a: albita; Mi: mica; Ca: calcita; Go: goethita; He: hematita; F: feldespato potásico; Tr: tridimita; Ap: apatito; Do: dolomita; He: hematita; Il: ilmenita; Cr: Cristobalita; An: anatasa; Y: yeso

(CO) y del CaCO₃ es irregular en relación con la profundidad del suelo (Tablas 1 y 2). En cada horizonte de la capa aluvial (2Ab-2Ckg) se verifica la ocurrencia de diferentes procesos pedogénéticos superpuestos. La sucesión de horizontes muestra poligénesis asociada a los cambios climáticos ocurridos en el Holoceno del sudoeste pampeano.

Micromorfología

La estabilidad de la superficie geomórfica en los interfluvios planos conlleva a un balance morfogénesis-pedogénesis favorable al desarrollo progresivo del suelo zonal de la región de Bahía Blanca (Suelo Muzzi). Del análisis micromorfológico surge que la composición mineral es homogénea en

todo el perfil e incluye granos detríticos de cuarzo, feldespatos alcalinos, silicofitolitos, plagioclasas (andesina y labradorita), vidrio volcánico incoloro predominante y escaso pardo, fragmentos rocosos de origen volcánico, hornblenda verde, augita, hipersteno y epidoto. Los granos se presentan en general, frescos y escasamente alterados con excepción del feldespato potásico. Su forma, redondeada y subredondeada acusa el efecto del transporte eólico en suspensión y saltación por los vientos predominantes de dirección S-SW, desde su fuente de aporte en la Patagonia Andina y extra-Andina. La mineralogía de la fracción arena corrobora el origen volcanoclástico de los sedimentos loésicos (Frenguelli 1925; Teruggi 1957; Teruggi, Andreis 1971). A partir de su estabilización, la exposición progresiva del loess a la acción de los factores pedogenéticos modificó sus características sedimentarias y generó rasgos puramente pedológicos asociados al proceso

de melanización (horizontes A-AC), en adición a los ciclos de lavado y concentración secundaria de calcita en la base del perfil (horizonte 2Ck). A escala microscópica, los atributos del suelo derivados de la melanización son: a) microestructura pedal migajosa y en bloques subangulares desarrollada por la coalescencia de pellets fecales individuales (Figura 3a) y esponjosa intrapedal, b) pigmentos húmicos en una matriz arcillo húmica determinante de una contextura de birrefringencia indiferenciada y una distribución relacionada porfirica, c) abundantes excrementos organo-minerales de Oribátidos y Lumbricidae, d) rellenos sueltos en poros compuestos por material organo-mineral, e) rasgos de fábrica consistentes en parches con mejor empaquetamiento de los constituyentes del suelo. El rol de las raíces de la vegetación graminosa y de la actividad de la mesofauna es notable en la génesis de los horizontes A-AC por la conformación de la

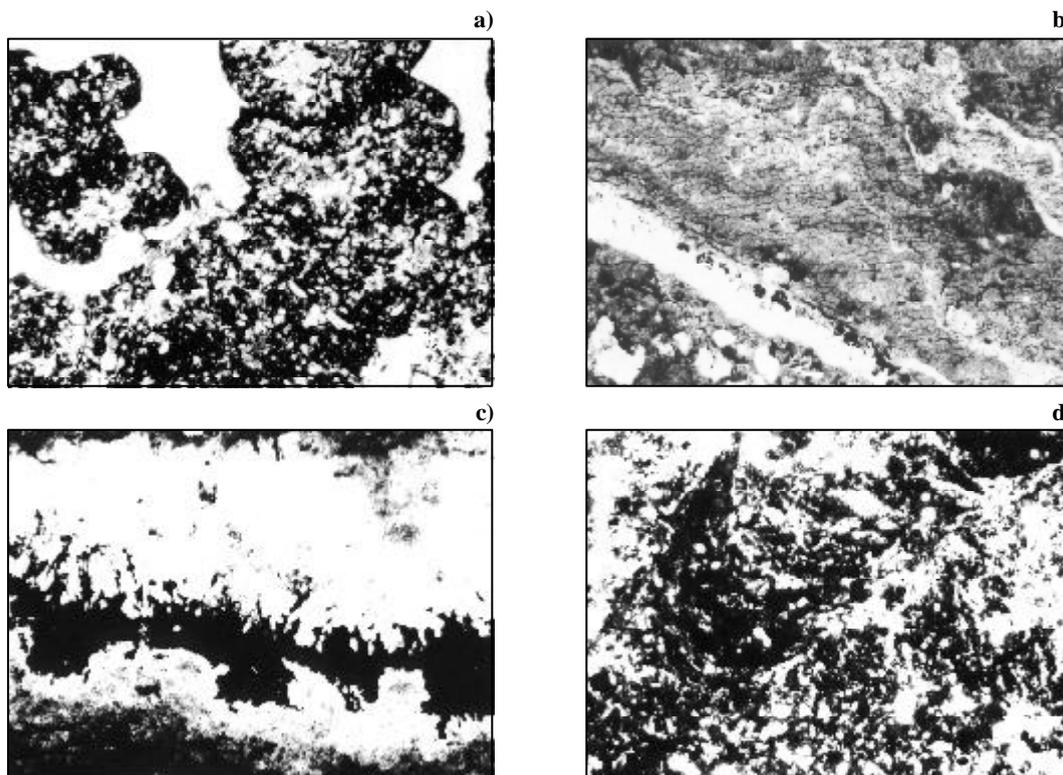


Figura 3. a) Microestructura conformada por pellets fecales coalescentes. b) Impregnaciones bandeadas y rellenos densos de calcita micrítica. c) Revestimiento de calcita en paredes de poros. d) Rasgo de tránsito de la mesofauna con aspecto arqueado creciente.

Figure 3. a) Microstructure built up by coalescent faecal pellets. b) Banded impregnations and dense infillings of micritic calcite. c) Coating of calcite on void wall. d) Crescent bowl-like pedofeature due to biological activity.

microestructura y por el desarrollo de la red de poros. Atributos similares son descriptos en la literatura en epipedones mólicos de regiones con características medioambientales semejantes a las de la región estudiada (Pawluck, Bal 1985). Los rasgos calcáreos se identifican a partir de los 50 cm de profundidad en los horizontes Ck y 2Ckm, predominando aquellos de acumulación pedogénica sobre los de disolución de carbonato de calcio. El proceso de calcificación origina rasgos compuestos por calcita micrítica consistentes en: a) contextura de birrefringencia cristalítica debido a la impregnación de la matriz por calcita micrítica, b) distribución relacionada porfírica cerrada con granos minerales dispersos en una matriz fina fuertemente impregnada con carbonato de calcio, c) impregnaciones micríticas con morfologías bandeadas (Figura 3b), d) revestimientos con morfologías tubulares y aciculares de calcita en paredes de canales y vesículas (Figura 3c), e) escasos hiporevestimientos, f) frecuentes nódulos impregnativos nucleicos -con núcleo de granos minerales de composición similar a la de los constituyentes gruesos y no nucleicos, g) escasas concreciones gruesas con microlaminación externa que incluyen granos minerales en algunas láminas. El grado de calcificación es mayor a la profundidad del horizonte petrocálcico, desarrollando una distribución relacionada porfírica abierta y un incremento en la dureza de cementación continua. La génesis del horizonte petrocálcico no corresponde al presente ciclo pedogenético, considerándose un relicto pedoclimático de un antiguo ciclo de aridización generalizada. La paleosuperficie petrocálcica resulta de su exhumación por erosión de los suelos pre-existentes durante el ciclo árido extremo del Pleistoceno Tardío (Markgraf 1983, Heusser 1984, Amiotti, *et al* 2001). Durante el Holoceno habría sido sepultada por la sedimentación loésica seguida de un período de estabilidad y pedogénesis durante el cuál el suelo adquirió los rasgos descriptos.

En la ladera del valle, los materiales de textura franco arenosa (Suelo Canesa 1), acusan una escasa pedogénesis y un desarrollo de horizontes limitado (A-C). El grado de organización incipiente se manifiesta a escala microscópica en una microestructura apedal de

tipo intergranular predominante, en el muy escaso contenido de arcilla birrefringente, en la distribución relacionada mónica dominante sobre gefúrica y en los escasos microrasgos pedológicos, restringidos a pocos excrementos y pocos rasgos de fábrica. Otros microrasgos de escasa frecuencia son los de pasaje, de aspecto arqueado creciente (Figura 3d) y con modificación del material edáfico alrededor de canales producido por el tránsito de la fauna. En este suelo de incipiente desarrollo no se observan rasgo indicadores de poligénesis.

En la terraza del valle (Suelo Canesa 2), el contraste entre el grado de organización y de desarrollo de microrasgos pedogenéticos entre el tramo superior de la secuencia y el suelo sepultado es notable. Las microcaracterísticas de los horizontes A1-A2-C se restringen al débil desarrollo de estructura de tipo compleja en bloques subangulares y migajosa débil con una marcada tendencia a grano simple, en razón del escaso contenido de material fino y a pocas clases de rasgos pedológicos. En el horizonte A2 subyacente se observa una mayor complejidad en la estructura desde grano simple hasta esponjosa a acanalada y una contextura de birrefringencia moteada por sectores. La red de huecos (40-50% estimada) está conformada por poros de empaquetamiento simple y compuesto coexistentes con abundantes mesocavidades dominantes sobre canales. El horizonte C con un tamaño de granos menor, tiene microestructura grano simple y distribución relacionada mónica a enáulica, excepto en un escaso 15% de la sección delgada que presenta distribuciones relacionadas chitónica a gefúrica. Los constituyentes gruesos de la masa del suelo se presentan pobremente seleccionados y son similares a los del suelo Muzzi. Los constituyentes orgánicos son escasos, limitados a algunos restos de raíces frescos, pigmentaciones y puntuaciones de materia orgánica. En el horizonte C se identifican dos clases de rasgos pedológicos: a) amorfos como nódulos típicos, pardo rojizos, compuestos por óxidos de hierro, desarrollados in situ a partir de procesos de episaturación y b) de fábrica consistentes en microagregados granulares y subangulares, medios, pardos oscuros, contrastantes con el material adyacente y similares al horizonte 2Ab enterrado originados a partir del retransporte

intrapedónico de material edáfico por el tránsito de la mesofauna.

El horizonte 2Ab del suelo sepultado tiene buen desarrollo de la microestructura intrapedal de tipo esponjosa y acanalada, con canales dominantes sobre cavidades mamelonadas y poros de empaquetamiento simple, diferente de la microestructura fisurada, con fisuras rellenas por óxidos de hierro del horizonte 2Cgk. La masa del suelo está dominada por constituyentes finos compuestos por arcilla, materia orgánica, óxidos de hierro y carbonato de calcio. La textura de birrefringencia varía desde indiferenciada, moteada en mosaico hasta localmente cristalítica en aquellos sectores dominados por calcita, grano y poroestriada debido a la presencia de arcilla orientada por fricción. La sección sepultada del Suelo Canesa 2 tiene grado de organización pedogenética superior a la de los materiales superpuestos, denotado por un número mayor de clases de rasgos pedológicos y por la presencia de rasgos complejos. Los microrasgos identificados consisten en: a) excrementos en forma de rellenos sueltos y conformando micro-agregados con fábrica interna porosa, b) rasgos de fábrica consistentes en zonas con mayor proporción de cavidades y vesículas que el material adyacente, c) amorfos como tejidos orgánicos con reemplazo pseudo-mórfico por óxidos de hierro, y abundantes concentraciones redox en nódulos impregnativos, rellenos densos de canales, revestimientos sobre granos, hiporevestimientos e intercalaciones simples, d) rasgos de empobrecimiento en escasas zonas claras de disolución de hierro y calcita, e) rasgos cristalíticos conformados por impregnaciones de calcita en la matriz y nódulos nucleicos y no nucleicos de carbonato de calcio, f) rasgos pedológicos complejos formados por la impregnación parcial con sesquióxidos de nódulos de microcalcita y de tejidos orgánicos previamente reemplazados por calcita. Otros rasgos complejos se reconocen como concreciones conformadas por micronódulos de calcita que contienen fisuras densas con rellenos sesquioxídicos y revestimientos externos constituidos por finas láminas sesquioxídicas. Esta complejidad se explica por la ocurrencia de un proceso de gleyzación

yuxtapuesto al proceso de calcificación. Los rasgos de empobrecimiento alrededor de los poros se vinculan con la migración de los iones Fe^{+2} y Mn^{+2} en la solución del suelo.

La presencia del horizonte Ab espeso (58-cm), su color muy oscuro (10YR2/1) y su contenido de carbono superior al de los epipedones mólicos de los suelos zonales serían, al menos parcialmente, características paleopedológicas heredadas de un clima más templado y húmedo que el semiárido presente y congruente con el citado por Grill (1993) para el Holoceno Medio en la zona de estudio. Los rasgos redoximórficos identificados no se explican por las oscilaciones del manto freático presente pues se encuentra a profundidades mayores de 3.5 m. La posición del Suelo Canesa 2 en una antigua llanura de inundación y las texturas finas del material parental habrían propiciado episodios de saturación del palesuelo generando los frecuentes rasgos de concentraciones y depleciones redox. La complejidad derivada del proceso de gleyzación superpuesto a la calcificación es otro indicio de la ocurrencia de procesos pedogenéticos bajo diferentes regímenes de humedad de suelo.

Mineralogía de las fracciones arcilla (< 1- μ m y < 2- μ m) y limo (2-50 μ m)

La illita y los interestratificados illita/esmectita son los minerales arcillosos dominantes en toda la secuencia de horizontes del suelo Muzzi (Tabla 2.). Las reacciones de meteorización en los horizontes A y AC serían estimuladas por la producción de ácidos orgánicos y por la alternancia de ciclos de humectación y secado en la superficie y subsuperficie del suelo. En el horizonte Ck las transformaciones de la illita estarían asociadas a un mayor tiempo de residencia del agua en el suelo debida a la percolación restringida por la presencia del horizonte petrocálcico. Clorita heredada del material parental se identifica en los horizontes C y Ck. En todos los horizontes suprayacentes al petrocálcico se reconocen interestratificados irregulares de clorita-esmectita, desarrollados probablemente por la pérdida de potasio por consumo de la vegetación natural y los cultivos. Minerales de otros grupos son cuarzo, microclino y ortosa, plagioclasa, probable piroxeno ó anfíbol, ilmenita y apatito. En el horizonte Ck se ha iden-

tificado también dolomita. En la fracción limo se reconocen illita e illita/esmectita asociada a silicatos primarios como minerales accesorios. Se han detectado cambios mínimos en la constitución mineral de la fracción fina de este suelo en función de la moderada agresividad pedogenética del microambiente de meteorización cuyas características geoquímicas son: pH neutro en el horizonte superficial a ligeramente alcalino en la subsuperficie (Tabla 3). Sólo se identifican transformaciones sin neoformación en la tendencia evolutiva de los minerales arcillosos. Por ende, la mineralogía de las arcillas del suelo Muzzi se interpreta como una propiedad heredada del material parental y en parte originada por la transformación de la illita y la clorita en minerales interestratificados. La secuencia de suelos yuxtapuestos (Suelo Canesa 2) muestra cierta similitud en las especies minerales reconocidas en las fracciones <1- μm y <2- μm , independientemente de las discontinuidades marcadas por las diferencias en la textura y edad de los materiales depositados en diferentes eventos sedimentarios (Tabla 4). La mineralogía de los horizontes A1, A2 y C es comparable con el suelo Muzzi. Esto puede ser explicado si se interpreta que la sección superior del perfil evoluciona en sedimentos de la Formación Matadero Saldungaray, erodados de los suelos zonales adyacentes. El horizonte 2Ab difiere de los suprayacentes por presentar un mayor contenido de interestratificados del tipo illita/esmectita y por carecer de clorita e interestratificados clorita/esmectita. Este incremento en el contenido de minerales transformados en interestratificados

es congruente con una pedogénesis más intensa en función de características ambientales más favorables en un período de estabilidad relativamente prolongado. La mineralogía de la fracción limo (2-50 μm) presenta similitud intrapedónica. No obstante, se reconoce probable esmectita en el horizonte 2Ab, la cuál no integra la fracción limo de los horizontes superiores.

La composición mineral de la fracción arcilla y limo del suelo Canesa 1 es similar a la de los materiales eólicos descritos en el Suelo Canesa 2 y Muzzi.

Generalmente, la historia geo-pedogenética y los cambios en materiales parentales durante la génesis de los suelos se registra en su composición mineral. Sin embargo, las variaciones climáticas durante la época Holoceno y las diferencias en tipo, origen, texturas, edad y posición en el paisaje de los materiales parentales alóctonos no son determinantes de contrastes en los minerales arcillosos de estos suelos. Las condiciones paleoclimáticas más húmedas citadas para el Holoceno Medio no han tenido influencia en la producción de arcillas neoformadas.

Evolución paleoclimática e historia geo-pedogenética

Los análisis mineralógicos y macro-micropedológicos de los suelos estudiados en relación con el clima/paleoclima y la correlación de los materiales parentales con las unidades estratigráficas, permiten efectuar la interpretación de la historia geo-pedogenética, sintetizada como sigue:

Durante la fase extremadamente árida

Tabla 3- Características físico-químicas de los suelos estudiados

Table 3- Physicochemical characteristics of the studied profiles

Suelo	Horizonte	pH		CO gr kg ⁻¹	CIC Cmol kg ⁻¹	Arcilla %
		H ₂ O	KCl			
Muzzi	A	6.7	5.5	15.7	25.5	31.9
	AC	7.1	6.0	10.0	22.8	27.3
	C	7.5	6.4	5.5	20.7	25.4
	Ck	8.4	7.0	2.1	19.1	23.0
	2Ckm	Horizonte petrocálcico				
Canesa 1	A	7.3	6.1	11.7	12.3	13.0
	C	7.6	6.5	6.8	12.8	12.1
Canesa 2	A1	7.0	6.0	11.6	11.9	11.8
	A2	7.2	6.1	6.5	12.4	12.7
	C	7.4	6.2	3.7	8.9	6.8
	2Ab	7.8	6.6	24.0	27.5	29.2
	2Ckg	7.9	6.8	5.8	25.6	32.3

del Pleistoceno Tardío se habría exhumado la paleosuperficie petrocálcica en los niveles de interfluvio y comienza, en las cuencas de la zona, la sedimentación del Miembro Psefítico Inferior de la Formación Agua Blanca, la que responde a depósitos de ríos entrelazados. (Borromei 1992)

Hacia el Holoceno Temprano, con condiciones de semiaridez, en una fase más atemperada y húmeda que la anterior, se habría iniciado en los valles la depositación de los sedimentos de la Formación Agua Blanca-Miembro Arenoso Medio y del loess eólico de la Formación Saavedra en las zonas de interfluvios.

Durante el Holoceno Medio se habrían estabilizado las superficies de interfluvio y culminaría, en las llanuras de inundación, la depositación de los sedimentos aluviales de textura fina correspondientes a la Formación Agua Blanca-Miembro Limo Arenoso Superior. Condiciones paleoclimáticas templadas y húmedas imperantes durante esta sub-época (Markgraf 1991, Heusser 1990) vuelve el balance favorable para la pedogénesis en ambas superficies geomórficas. El mejoramiento climático tiene mayor impacto en la génesis de los suelos de la llanura de inundación, con condiciones locales de edafoclima más húmedo. Se genera así un horizonte A hoy correlacionable con el Paleosuelo Puesto Berrondo, geosol identificado en otras cuencas de la provincia de Buenos Aires (Fidalgo *et al.* 1973 a, b; 1975).

En el Holoceno Tardío se verifica un nuevo desmejoramiento climático hacia una fase semiárida extendida hasta el Presente. Durante este lapso, se reactiva la morfogénesis denotada aguas abajo de la zona de estudio por la depositación de lentes alternantes de sedimentos aluviales de distinta granulometría, con predominio de aquellos de texturas arenosas en la llanura de inundación actual. En la toposecuencia analizada, la profundización del cauce genera una terraza poligenética, en la que pulsos de acreción eólica correlacionables con los sedimentos de textura gruesa de la Formación Matadero Saldungaray, sepultan al suelo aluvial del Holoceno Medio y tapizan las laderas del valle. El desmejoramiento climático es evidenciado en las posiciones geomórficas más inestables. La topografía inclinada de la

ladera del valle determina el predominio de la morfogénesis sobre la pedogénesis, promoviendo la remoción y el aporte de materiales con el consecuente escaso tiempo de residencia del sedimento. Esto se manifiesta en el limitado desarrollo pedogenético del Suelo Canesa 1. El impacto del cambio climático se verifica con mayor intensidad en la antigua llanura de inundación (Suelo Canesa 2). Se observa aquí un fuerte contraste en las texturas de los materiales parentales y en la intensidad pedogenética, con morfologías del perfil desarrolladas durante dos fases claramente diferenciadas: una húmeda (2Ab-2Ckg) y otra semiárida (A1-A2-C). La trayectoria pedogenética sobre cada manto sedimentario acompaña, en este caso la evolución climática del Holoceno. En las superficies estabilizadas de los planos de interfluvio, el desarrollo edáfico es una alteración postdeposicional de los sedimentos loessicos de la Formación Saavedra y no reflejan las distintas fases correspondientes a los cambios climáticos de las últimas sub-épocas del Holoceno. Aquí, los procesos morfogenéticos habrían sido menos intensos y estarían asociados a pulsos de deflación con la consecuente pérdida de materiales de la superficie del suelo. La única evidencia de poligénesis se reconoce por la presencia del horizonte petrocálcico subyacente al manto loésico Holoceno y que aparece como una discordancia erosiva en la base del suelo Muzzi.

REFERENCIAS

- Amiotti N, Blanco MdelC, Sanchez L. 2001. Complex pedogenesis related to differential aeolian sedimentation in microenvironments of the southern part of the semiarid region of Argentina. *Catena* 43:137-156.
- Bidart S. 1992. Caracterización textural de los sedimentos eólicos en el area de la Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. Simposio Intern. sobre loess: características, cronología y significado paleoclimático del loess. Mar del Plata. Argentina. 43-47 pp.
- Borromei AM 1988. A braided fluvial system in Pleistocenic sediments in southern Buenos Aires Province, Argentina. Rabassa J (Ed), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 6:221-233.
- Borromei AM. 1992. Geología y palinología de los depósitos Cuaternarios en el valle del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional

- del Sur, Bahía Blanca 200 p.
- Bullock P, Fedoroff N, Jongerious A, Stoops G, Tursina T, Babel U. 1985. Handbook for soil thin section description. Wayne Research Publications, Wolverhampton. 150 p.
- Consejo Federal de Inversiones (CFI). 1975. Mapa Geológico de la Provincia de Buenos Aires. Convenio CFI/MOP/MAA. 61p.
- Fidalgo F, Colado U, De Francesco O. 1973a. Sobre ingresiones marinas Cuaternarias en los Partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). *Actas V Congr. Geol. Argentino*, Buenos Aires. IV: 227-240.
- Fidalgo F, De Francesco O, Colado U. 1973b. *Geología Superficial en las Hojas Castelli, J.M. Cobo y Monasterio* (Provincia de Buenos Aires). *Actas V Congr. Geol. Argentino*, Buenos Aires. IV:27-39.
- Fidalgo F, De Francesco F, Pascual R. 1975. *Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. Relatorio de la Geol. de la Prov. de Buenos Aires. VI Congr. Geol. Argentino. Bahía Blanca.* 103-140 pp.
- Frenguelli J. 1925. *Limos y Loess pampeanos*. Universidad Nacional de La Plata. Serie Técnica y Didáctica 7. La Plata. Argentina. 1-88 pp.
- Gerrard J. 1990. Soil variations on a hillslope in humid temperate climates. En: *Soils and landscape evolution*, Kneuffer P. L., Mc Fadden L. (Eds), *Geomorphology* 3: 225-244.
- Gonzalez Uriarte M. 1984. Características geomorfológicas de la región continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. *Actas IX Congr. Geol. Argentino. S.C. de Bariloche, Argentina, Vol. III:* 556-576.
- Grill S. 1993. *Estratigrafía y paleoambientes del Cuaternario en base a palinomorfos, en la Cuenca del Arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. UNS. Bahía Blanca. Argentina.* 137 p.
- Heusser CJ. 1984. Late Quaternary climates in Chile in Late Cainozoic paleoclimates of the Southern hemisphere. En: Vogel JJC. (Ed.), *Balkema, Rotterdam.* 59-83pp.
- Heusser CJ. 1990. Ice vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeogr., Palaeoclim. and Palaeoecology*, 80: 107-127.
- Markgraf V. 1983. Late and post-glacial vegetational changes in subantarctic, temperate and arid environment in Argentina. *Palinology*, 7: 43-70.
- Markgraf V. 1991. Late Pleistocene environmental and climatic evolution in southern South America. *Bamberger. Geogr. Schr.* 11: 271-281.
- Pawluck S, Bal L. 1985. Micromorphology of selected mollic epipedons. En Douglas L, Thompson M (Eds), *SSSA Special Publication* 15:63-104.
- Rabassa J. 1989. *Geología de los depósitos del Pleistoceno Superior-Holoceno en las cabecezas del río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. IJorn. Geol. Bonaerenses. Actas. Tandil. Argentina.* 765-790 pp.
- Sánchez LF, Amiotti NM. 1991. Principales Series de Suelos de los partidos de Villarino y Bahía Blanca (Bs.As.). *Actas X Reunión Nac. Comité Argentino para el Estudio de las Regiones Áridas y Semiáridas.* 51-52 pp.
- Soil Survey Staff - USDA. 1991. *Soil Survey Manual, Handbook* 18, 437 p.
- Soil Survey Staff-USDA. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System for Classifying Soils, Agriculture Handbook* 436, 863 p.
- Teruggi M. 1957. The nature and origin of Argentinian loess. *J. Sedim. Petrology* 27, 3:322-332.
- Teruggi M, Andreis R. 1971. Microestructuras pedológicas. Características, distribución en sedimentos argentinos y posible aplicación en sedimentología. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* XXVI, 4:91-502.