

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA
(NUEVA SERIE)

TOMO XI

Geología n° 109

**SUELOS CON FRAGIPAN DEL NOROESTE DE LA
PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

Jorge E. Gimenez
Perla A. Imbellone
Rodolfo R. Iasi

SUELOS CON FRAGIPAN DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Jorge E. Giménez
Perla A. Imbellone
Rodolfo R. Iasi¹

RESUMEN

Este trabajo discute las propiedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas de dos secuencias de suelos-paleosuelos, situados en el NO de la provincia de Buenos Aires (región de la Pampa Arenosa). Los suelos se han desarrollado sobre loess arenoso y tienen discontinuidades litológicas, suelos enterrados y fragipanes. Por debajo del suelo actual se han encontrado dos paleosuelos enterrados con horizontes argílicos y un suelo incipiente recientemente sepultado. Los paleosuelos más antiguos reflejan condiciones paleoambientales húmedas similares a las del reciente ciclo húmedo. El paleosuelo más profundo constituye un fragipán cuyas propiedades distintivas son la consistencia dura o más dura en seco, quebradiza en húmedo y la susceptibilidad de los fragmentos a desleirse en agua. Su desarrollo ha sido favorecido por una clase de tamaño de partículas franca, puentes de arcilla y de arcilla y limo, granos del esqueleto entrelazados y un proceso de calcificación moderado.

Palabras clave: Fragipán, Suelos enterrados, NO de la provincia de Buenos Aires

ABSTRACT

SOILS WITH FRAGIPAN IN NORTHWESTERN BUENOS AIRES PROVINCE

This paper discusses the morphological, physical, chemical, mineralogical and micromorphological properties of two soil - paleosol sequences. They are located in the NW region (Sandy Pampa) of Buenos Aires province, Argentina. The soils are developed on sandy sandy loess and have lithologic discontinuities, buried soils and fragipans. Two buried paleosols with argillic horizons and an incipient, recently buried soil have been found under the present soil. The older paleosols reflect humid paleoenvironmental conditions similar to those prevailing at present. The deeper paleosol is a fragipan whose main features are hard or very hard consistence when dry, brittleness when moist and the fragments slake when placed in water. Its formation has been favoured by a loamy particle-size class, clay and clay-silt bridges, interlocking grains and a moderate calcification process.

Key words: Fragipan, Buried soils, NW Buenos Aires province

INTRODUCCION

En el NO de la provincia de Buenos Aires se ha mencionado la presencia de suelos con horizontes subsuperficiales con diferente grado de endurecimiento. Sin embargo, no se ha realizado una caracterización completa de los mismos con el

fin de dilucidar las causas del endurecimiento o asignarles una clasificación precisa.

En algunos casos se describen horizontes con endurecimiento reversible. Así por ejemplo, la presencia de fragipanes en la región pampeana oeste fue mencionada por primera vez por Bonfils et al. (1960) al

describir las series Rufino y Carlos Tejedor. En un estudio realizado por el Instituto de Pedología (1973) en los partidos de Daireaux y Bolivar se describe la serie Don Roque que incluye un horizonte B3/C1x. Etchevehere (1975) se refiere a un "horizonte iluvial franco arcillo arenoso, hidromórfico, a veces cementado con sílice". Hurtado et al. (1985) hacen referencia a horizontes "de dureza irreversible provocada por la concentración de cementantes entre los cuales se encuentran óxidos de hierro, carbonato de calcio y posiblemente sílice" en la zona central norte de la pampa arenosa. Sobral et al. (1993) tratan en forma general el problema de las cementaciones químicas, dentro de la descripción de lo que los autores llaman "suelos overos" y consideran que "el impedimento del desarrollo de la zona radical es debido a la cementación con sales". Ya Piñeiro y Cerana (citados por Sobral et al.) atribuían el manchoneo de los cultivos a la presencia de cementación por sílice, horizontes Bt a profundidades variables y cementaciones con carbonato de calcio.

En el mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires en escala 1:500.000 el INTA (1989) describe perfiles con endurecimiento reversible (Fragiacualfes) o irreversible (Duracuoles) que ocupan una pequeña superficie en el NO, extendiéndose a las provincias de Córdoba y Santa Fe (INTA, 1990). Otros suelos con horizontes endurecidos (por ejemplo, Natralboles, Natracuoles) han sido descritos en la región (INTA, 1989, 1990).

El objetivo del presente trabajo es analizar las propiedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas de dos suelos complejos que poseen fragipanes. Asimismo, se discuten las características y génesis de éstos.

MATERIALES Y METODOS

Observaciones de los autores indican que los fragipanes se encuentran vinculados a paleohorizontes. En la Pampa Are-

nosa existe una amplia superficie cubierta por suelos complejos con paleohorizontes (subgrupos "tpto") (INTA, 1989) (Fig. 1). Por esta razón existe la posibilidad de encontrar fragipanes en las áreas señaladas con suelos enterrados. Sin embargo, en el trabajo del INTA la presencia de los escasos fragipanes mencionados no se vincula a horizontes sepultados.

Dentro de la región uno de los autores (JEG) ha observado numerosos perfiles con fragipanes generalmente vinculados a posiciones deprimidas del paisaje. Dos pedones con esas características ubicados en el partido de Carlos Tejedor han sido seleccionados para su estudio detallado.

Geomorfológicamente el área se caracteriza por una sucesión de extensas dunas longitudinales orientadas SO a N, actualmente estabilizadas y aplanadas, separadas por áreas interdunarias. En estas geoformas mayores se han diferenciado otras menores tales como médanos, mantos, mantos someros, depresiones intermedanosas y cubetas (Dillon et al., 1985).

Los perfiles se ubican dentro de mantos someros, áreas de relieve plano a muy levemente inclinado, contiguas a las depresiones intermedanosas, sujetas a anegamiento en épocas de lluvias intensas.

El área tiene una precipitación media anual de alrededor de 700 mm. Sin embargo, la región ha experimentado marcadas fluctuaciones de los registros pluviométricos. Así por ejemplo, desde principios de la década de 1970 se ha producido un ciclo húmedo con medias de 1000 mm en el período 1973-1988 y valores máximos de 1400 mm. Por otro lado, han existido períodos secos con registros anuales de 300 - 400 mm, especialmente en las décadas del 30 y 40, que han acarreado graves problemas de erosión eólica. La temperatura media anual es de 15-16 °C, con medias de verano de 24 °C y medias de invierno de 7-8 °C y temperaturas extremas de 43 °C y -10 °C.

Los perfiles han sido clasificados como

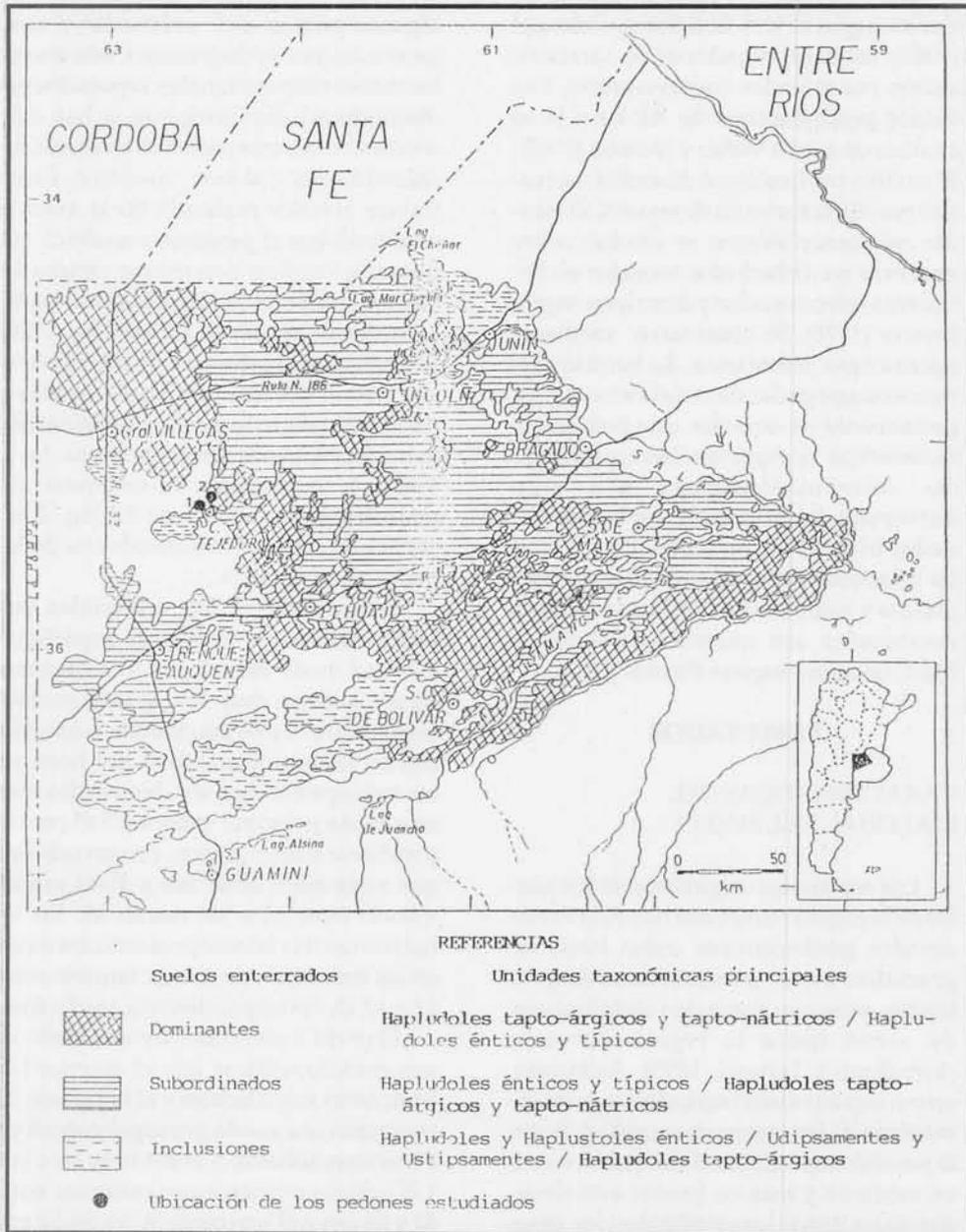


Fig. 1: Mapa de distribución de paleosuelos del NO de la provincia de Buenos Aires (basado en INTA, 1989)

Natrudol (Perfil 1) y Hapludol taptónátrico (Perfil 2). La descripción morfológica y las propiedades físico y químicas se indican en el apéndice.

Las descripciones morfológicas se hicieron según el U.S. Soil Survey Manual (1981); las determinaciones de caracterización por métodos convencionales. Los óxidos pedogenéticos de Al, Fe y Si se analizaron según Mehra y Jackson (1960). El análisis mineralógico de arcillas se realizó por difracción de rayos X. El estudio micromorfológico se efectuó sobre muestras no disturbadas tomadas en horizontes seleccionados y descritas según Brewer (1976). Se observaron mediante microscopio electrónico de barrido numerosos agregados de cada horizonte, especialmente de aquellos que poseen características de fragipán. Las características micromorfológicas han sido instrumentales para entender las propiedades frágicas de los panes. Para definir las relaciones entre granos del esqueleto, plasma y vacíos se han utilizado técnicas combinadas con microscopía óptica y MEB, tal como sugiere Payton (1981).

RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DEL SUELO

Los materiales originarios de los suelos de la región pampeana han sido considerados genéricamente como loess, de granulometría predominantemente limosa, pero con aumentos significativos de arena hacia la región noroeste (Imbellone y Teruggi, 1993). Asimismo, en esa región existen variaciones granulométricas de los materiales en relación con la posición topográfica de los perfiles. Así, en médanos y mantos (partes más elevadas de las dunas longitudinales) los tenores de arena varían entre 40 y 60 %. Los contenidos más elevados de este intervalo permitirían calificar a los materiales como "arena". En posiciones más bajas (mantos someros, depresiones intermedanasas y

cubetas) los contenidos de arena varían entre 15 y 40 % (Dillon et al., 1985).

Los mantos de loess sobre los que se han desarrollado los suelos estudiados presentan diferencias granulométricas, algunas propias del sedimento y otras generadas por pedogénesis. Cada uno de los mantos deposicionales, separados por discontinuidades litológicas, se han diferenciado mediante números romanos, señalando como I al más moderno. En un trabajo anterior realizado en la zona se estableció que el parámetro analítico que permitía verificar con mayor certeza las discontinuidades litológicas era el análisis textural (Imbellone y Camilión, 1984). Los cálculos se refieren a la fracción menos móvil del material de los suelos y permiten inferir la posible composición granulométrica de los sedimentos. En la Tabla 1 se muestra la composición granulométrica total y en la Fig. 2 las curvas de frecuencia acumulativa de los pedones estudiados.

En el perfil 1 los materiales son unimodales en el horizonte superficial, con una moda entre 3 y 4 ϕ correspondiente a arena muy fina y más precisamente entre 62 y 88 μm cuando se consideran los valores de medio ϕ . Los horizontes subsuperficiales son bimodales, con una moda principal entre 4 y 5 ϕ correspondiente a limo grueso, con un máximo que varía entre 22-31 μm y 31-44 μm tomando intervalos de medio ϕ . En los horizontes iluviales se presenta otra moda en las fracciones de menor tamaño entre 11 y 12 ϕ , correspondiente a arcilla fina.

El perfil 2 presenta mayores variaciones granulométricas que el anterior. Los horizontes superficiales y el horizonte 5C presentan una moda principal entre 3 y 4 ϕ correspondiente a arena muy fina (62-125 μm), los primeros con máximos entre 62 y 88 μm y el horizonte 5C en 44-62 μm . La moda secundaria entre 11 y 12 ϕ se registra en los horizontes eluviales y muy pobremente expresada en el 5C. Los horizontes iluviales presentan moda principal entre 4 y 5 ϕ , con máximos en los 31-44 μm

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Horizonte	Prof. cm	Arena		Limo		Arc.		Dens. ap. Mg m ⁻³	pH	C.E. dS m ⁻¹	C Org. %	CO ₃ Ca %	Oxidos libres		Mineralogía de arcillas	
		%	%	%	%	SiO ₂	Fe ₂ O ₃						Al ₂ O ₃	I	I/E	C
PEDON 1																
A	0-18	31.4	52.1	16.4	1.44	7.3	-----	2.30	-----	0.33	0.09	0.48	80	15	5	
2Btb	18-38	17.8	46.7	35.4	1.41	7.6	2.87	0.83	-----	1.63	0.03	0.27	65	35	vest	
2BCb1	38-53	15.2	51.6	33.2	1.38	7.9	9.40	0.66	1.51	2.88	0.02	4.34	65	30	vest	
2BCb2	53-67	19.2	55.1	25.8	1.54	7.6	17.23	0.35	2.36	0.54	0.03	0.79	85	10	vest	
3Btkxg'	67-80	21.1	45.0	33.9	1.49	6.0	6.29	0.43	2.57	0.32	0.13	0.21	40	60	vest	
3BCkxb'	80-123+	24.6	43.3	32.0	1.62	6.1	4.81	0.30	4.88	0.66	0.04	1.60	60	40	vest	
PEDON 2																
A	0-16	40.9	41.5	17.6	1.37	6.3	-----	3.83	-----	0.33	0.21	0.57	80	10	10	
2Ab	16-30	30.6	46.7	22.7	1.18	7.3	-----	2.80	-----	0.28	0.10	0.31	85	10	5	
2ACb	30-40	27.7	52.9	19.4	1.32	8.0	1.50	0.82	-----	0.47	0.04	0.56	75	20	5	
3Btb'	40-52	17.6	46.5	36.0	1.56	7.8	5.74	0.68	-----	0.98	0.04	0.39	70	30	vest	
3BCb'	52-64	18.7	62.8	18.6	1.47	8.2	6.46	0.52	0.47	0.31	0.04	0.29	60	40	vest	
4Btkxb''	64-96	20.4	50.8	28.9	1.47	7.9	1.46	0.42	2.05	0.46	0.05	0.90	60	40	vest	
4BCkxb''	96-118	24.0	47.0	29.0	1.42	8.1	-----	0.17	1.52	0.04	0.08	0.08	60	40	vest	
5Cb''	118-137	37.4	46.2	16.4	1.46	8.1	-----	0.10	0.56	0.65	0.03	2.11	50	50	vest	

I: Illita; I/E: Interstratificados illita-esmectita + esmectita; C: Caolinita

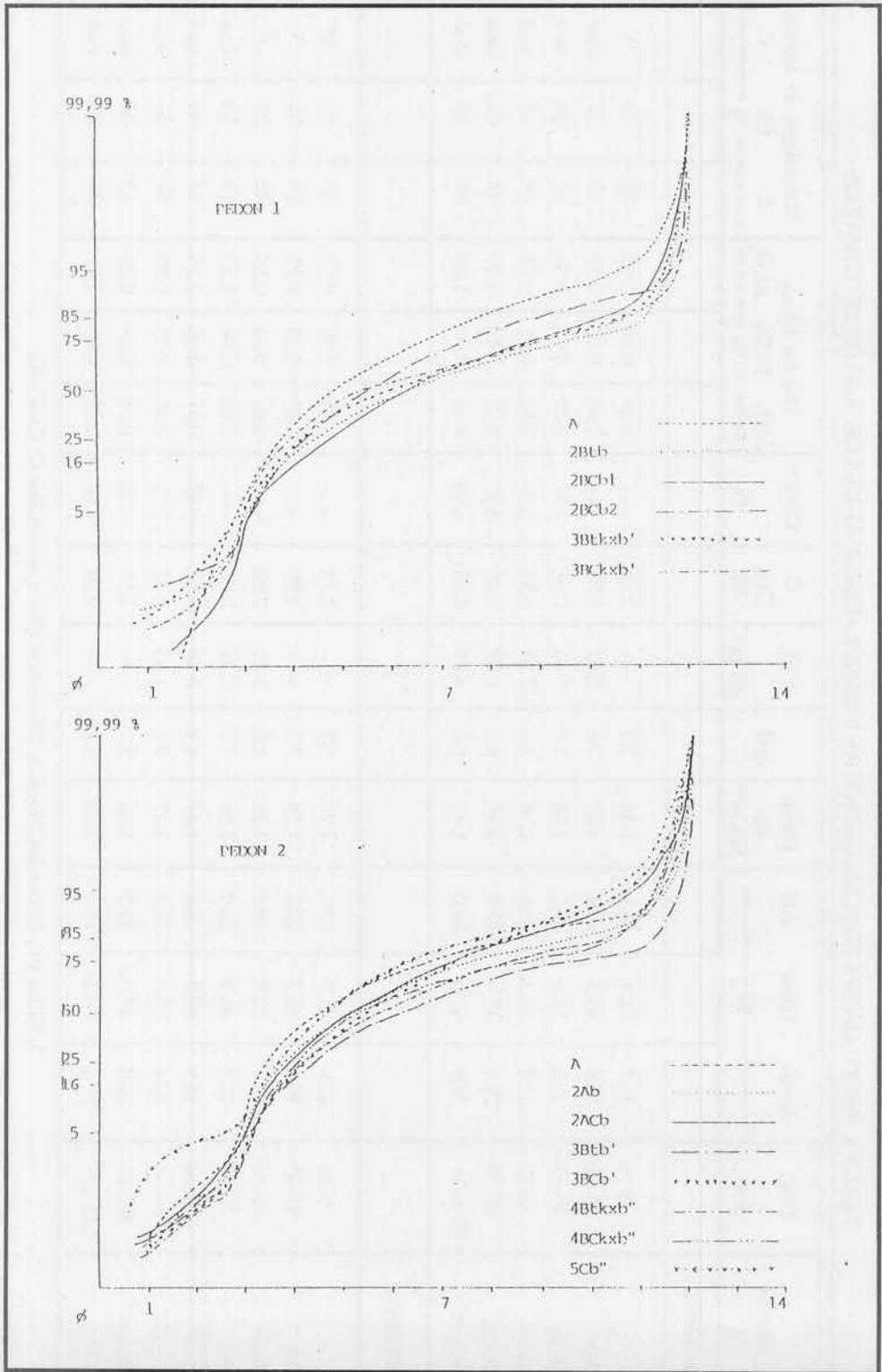


Fig. 2: Curvas de frecuencia acumulativas

y 22-31 μm en los distintos horizontes. En los horizontes Bt la moda entre 11 y 12 μm está muy bien representada.

En el presente estudio la tendencia de variación granulométrica es similar en ambos perfiles: los materiales son más gruesos en las partes superior e inferior de las secuencias y más finos en las partes medias.

Si las tendencias apuntadas reflejan condiciones de sedimentación, se tendría que los mantos más antiguos (III y V de los pedones 1 y 2 respectivamente), recibieron un aporte de sedimento que se fue haciendo más fino en los depósitos siguientes (mantos II y III en el pedón 1 y manto IV en el pedón 2), punto en el cual comenzaron a recibir sedimentos de granulometría semejante a la de los materiales más antiguos.

La mineralogía de arcillas muestra que ambos perfiles poseen materiales cualitativa y cuantitativamente homogéneos, predominantemente illíticos, acompañados por esmectitas y en cantidades muy escasas caolinita. Los materiales recientes poseen mayores tenores de illita, que decrecen a medida que los materiales se hacen más antiguos (Fig.3).

SUELOS

Morfología

Ambos perfiles presentan, con distinto grado de expresión, dos ciclos pedológicos antiguos bien desarrollados con horizontes Bt y BC. Los dos ciclos carecen de horizontes eluviales e infrayacen al suelo actual (Pedón 1) o subactual (Pedón 2).

La textura es franca a franco limosa en los materiales superficiales. En los horizontes Bt y BC más recientes es franco arcillo limosa a franco limosa, pasando a franco arcillosa en los paleosuelos más profundos. La estructura de los horizontes superficiales es en bloques subangulares. Los horizontes Bt más recientes tienen estructura en bloques

subangulares o prismática y consistencia dura a muy dura en seco. En los horizontes Bt más antiguos se observa estructura prismática que pasa por debajo en los horizontes BC a laminar o bien es laminar en ambos horizontes. En todos los casos la consistencia es dura o muy dura en seco y quebradiza en húmeda.

Los rasgos hidromórficos (moteados) se encuentran en el material superficial y en algunos horizontes de los materiales subyacentes. El carbonato de calcio aparece en mayor cantidad en los paleosuelos más profundos donde se presenta en forma de muñequillas o tapizando antiguos canalículos de raíces. En los paleosuelos más recientes se encuentra diseminado en la masa.

Los rasgos de iluviación se encuentran en todos los paleosuelos en forma de cutanes arcillo-húmicos, concentrados principalmente en caras de agregados. En los horizontes con estructura laminar aparecen preferentemente entre las láminas.

Micromorfología

La observación micromorfológica muestra que los suelos y paleosuelos poseen naturaleza mineralógica típica del loess pampeano, con las variaciones granulométricas mencionadas en párrafos anteriores.

Los suelos actuales poseen microestructura masiva-granular, distribución relativa intertética y fábrica plasmática silasépica con extinción puntual debida a la abundancia de partículas de limo. Los mesovacíos finos (entre 50-100 μm) más abundantes son ortocavidades irregulares y mamelonadas, intercomunicadas y/o aisladas, distribuidas al azar y predominantes en los horizontes más profundos, donde poseen mayor tamaño (hasta 500 μm). Además son abundantes los biorrelictos como secciones transversales y longitudinales de raíces.

En los paleosuelos la distribución relativa es porfiro-esquelética, con fábrica plásmica silasépica, argilasilasépica,

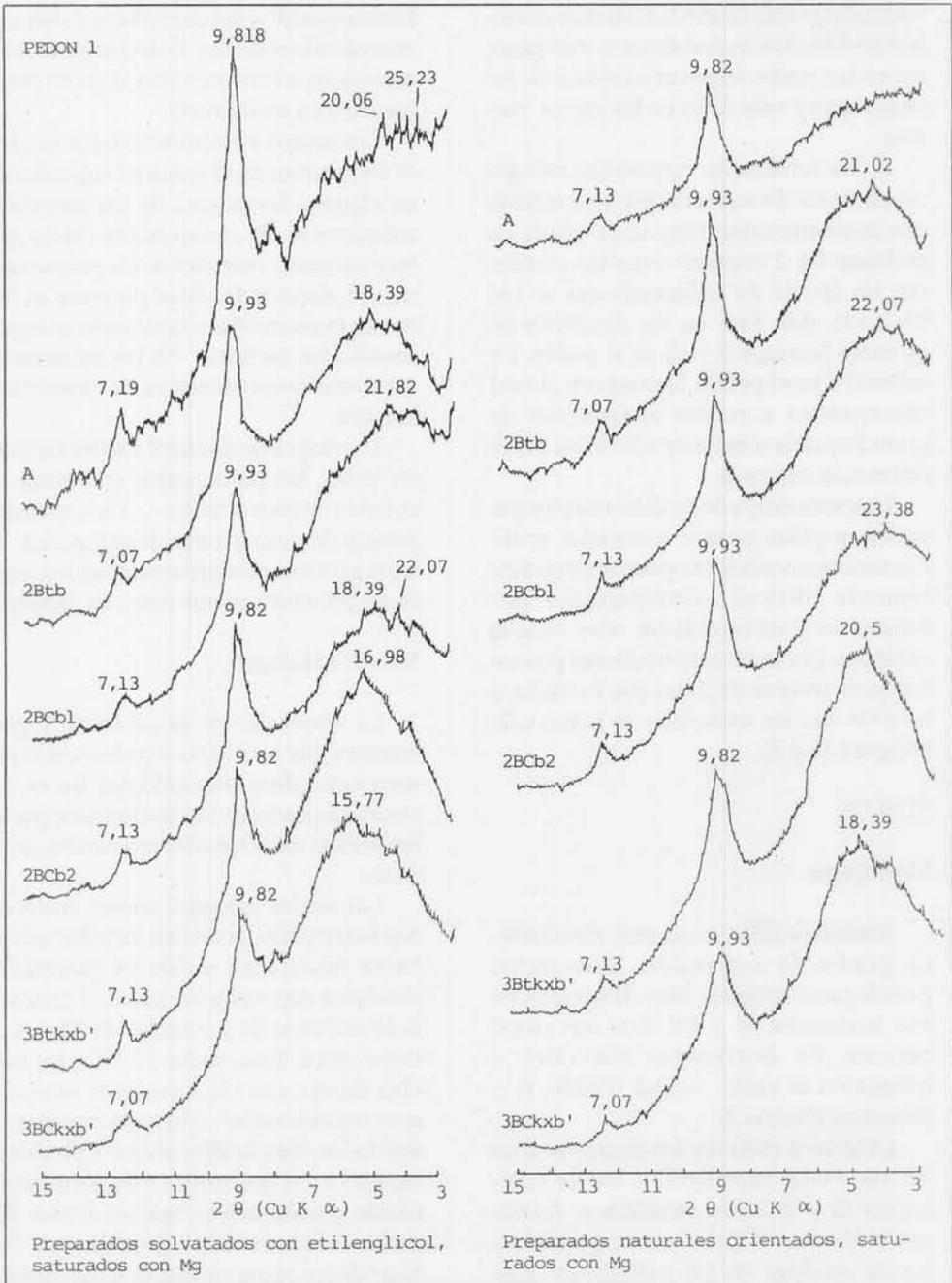


Fig. 3a: Difractogramas de rayos X de la fracción menor que 2 μm (1.10³ - 4). Pedón 1

esquelséptica o inséptica por partes. La matriz intrapedal es densa con escasas cavidades principalmente aisladas, redondeadas o irregulares y distribuidas al azar. En el techo de los horizontes Bt se observan cadenas de cavidades irregulares intercomunicadas por fisuras cortas subhorizontales. Los mesovacios son muy abundantes en la base del paleosuelo más moderno. El paleosuelo más antiguo difiere del anterior por poseer menor porosidad en cavidades y abundantes grietas desordenadas, algunas subhorizontales. Gran parte de la porosidad está obliterada por argillanes y calcitanes.

En su parte superior suelen presentar microestructura laminar, con las partículas de la matriz orientadas subhorizontalmente. En las porciones laminares suelen observarse concentraciones oscuras difusas de materia orgánica, con disposición subhorizontal, como también puntuaciones de la misma naturaleza, diseminadas en la matriz del suelo.

El plasma distribuido en la matriz de los paleosuelos es de color pardo claro sin analizador y posee escasa birrefringencia bajo microscopio óptico. Observaciones con MEB indican la presencia de arcillas cristalinas dispuestas desordenadamente dentro del material.

Las concentraciones de plasma de los paleosuelos se presentan principalmente como cutanes de iluviación simples (Fig. 4a y b) y/o compuestos sobre cavidades y/o fisuras planares intrapedales. Entre los primeros aparecen: a) **argillanes**; trama uniforme, débil a moderadamente orientados, algunos con mezcla de partículas de mayor tamaño, los más finos presentan mejor orientación; y b) **argillanes laminares** sobre cavidades irregulares, orientación fuerte. Los **cutanes compuestos** están formados por argillanes y calcitanes superpuestos en esa relación sobre todo tipo de vacíos del suelo, ya sean cavidades como fisuras inter o intrapedales. Los rasgos de iluviación son más abundantes en la base de ambos paleosuelos.

FRAGIPANES

Morfología

Los fragipanes estudiados tienen las siguientes características: aparecen a una profundidad de 64-67 cm y su espesor es de alrededor de 55 cm; tienen clase por tamaño de partículas franca y muy escasa materia orgánica; sus agregados tienen consistencia dura o muy dura en seco, quebradiza en húmedo y se deslíen cuando se sumergen en agua. Presentan moteados y cutanes arcillo-húmicos, un límite superior neto y un límite inferior gradual.

Los agregados están prácticamente desprovistos de raíces excepto a lo largo de grietas verticales, generalmente separadas por distancias de unos 10 cm, y entre láminas. Sin embargo, dentro de los agregados laminares se observan canaliculos de antiguas raicillas, lo que indica que los horizontes estaban originariamente cerca de la superficie y que no eran suficientemente duros como para restringir la penetración de las raíces. La densidad aparente no siempre es superior a la de otros horizontes no endurecidos. Posee cantidades moderadas de carbonato de calcio, componente generalmente no hallado en fragipanes de otros lugares.

Características de la matriz-S

Los granos del esqueleto predominan en la matriz-S de los materiales con tamaños entre 125 y 31 μm , de formas angulares a subangulares. Estos tamaños y formas favorecen un empaquetamiento denso con numerosos puntos y superficies de contacto entre los granos. La macroporosidad es escasa, con predominancia de mesoporos consistentes en grietas y escasas cavidades.

El plasma es arcilloso y está íntimamente ligado a los granos de arena y limo. Observaciones por MEB muestran que parte del plasma se presenta uniendo los granos formando puentes, sin consti-

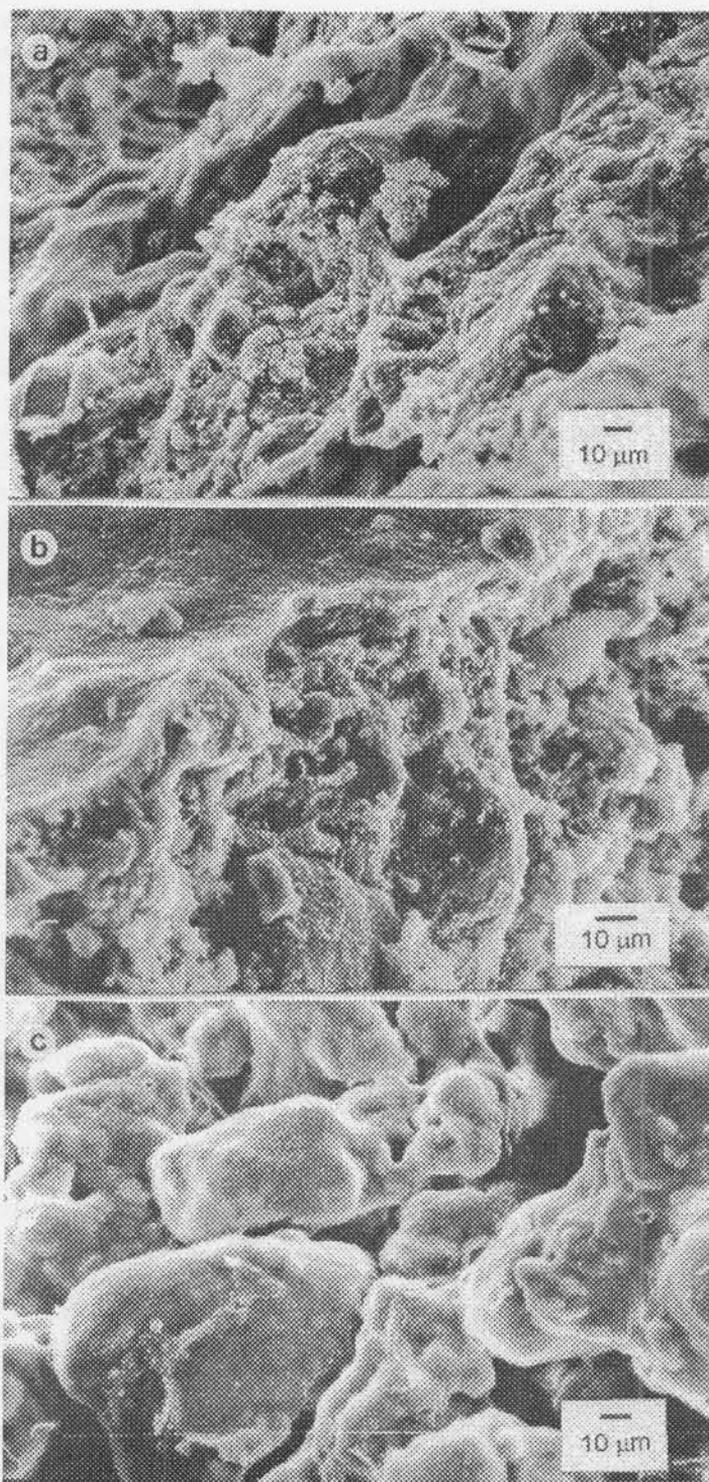


Fig. 4: Rasgos observables mediante MEB. a) Argillanes en poros de conducción. Horizonte 4BCkxb^h, Pedón 2. b) Argillanes cubriendo la pared de agregados. Arcilla iluvial penetrando la matriz del suelo. Horizonte 4Btkxb^h, Pedón 2. c) Granos de esqueleto recubiertos y unidos por puentes de arcilla. Horizonte 4Btkxb^h, Pedón 2.

tuir una masa continua donde quedan inmersos los granos del esqueleto (Fig. 4c). Las separaciones plasmáticas son muy escasas, aunque se observan por microscopía óptica zonas de plasma birrefringente alrededor y entre los granos del esqueleto.

Se ha observado plasma en forma de puentes bajo algunas de las formas descritas por Payton (1981) y Wang et al. (1974). Ellas son: a) **Puentes de arcilla** de hasta 10 μm uniendo granos del esqueleto o finos cutanes de partículas de arcilla orientada. Esta orientación, aunque fuerte localmente, cambia en corta distancia impidiendo el desarrollo de una fábrica plásmica orientada en la matriz del suelo. Estos puentes pueden sellar parcialmente vacíos de empaquetamiento y están distribuidos al azar. Cuando el espesor y continuidad de esos cutanes y puentes aumenta, la fábrica plásmica se observa esqueléptica o maséptica a pocos aumentos. b) **Puentes de arcilla y limo fino** constituidos por partículas de arcilla y limo fino que se unen con granos del esqueleto y otros puentes. En el interior de los puentes se observan partículas de arcilla moderadamente orientadas.

DISCUSION

Los suelos estudiados presentan características macro y micromorfológicas estudiadas en el campo y verificadas analíticamente, que en su conjunto favorecen la formación de fragipanes: materiales de texturas francas (Petersen et al., 1970), presencia de discontinuidades litológicas y pedológicas (Smeck et al., 1989), entrelazamiento de granos del esqueleto y puentes de arcilla (Payton, 1981).

El material de los suelos es loess y supera el 20% de arena para ser considerado como loess arenoso (Pye, 1987). La moda principal se encuentra entre los 3-4 ϕ y 4-5 ϕ en los distintos horizontes. La asociación es de naturaleza volcánica piroclástica con abundante contenido de

vidrio volcánico, ya sea concentrado en tefras o en el material del suelo (Camilión e Imbellone, 1984). La forma de los clastos de los minerales es angular a subangular y sumada a la extrema angulosidad de las trizas de vidrio volcánico, permiten un entrelazamiento estrecho del esqueleto del suelo por partes.

El contenido de arena varía entre 15 y 41 % en los pedones estudiados y entre 21 y 25 % en los fragipanes. El contenido de limo es alto: entre 42 y 62 % en ambos pedones y entre 43 y 51 % en los fragipanes. Los valores señalados son importantes en la aparición de propiedades frágicas, ya que favorecen un empaquetamiento denso. Los tenores de arcilla varían entre 16 y 36 % en los perfiles y entre 29 y 34 % en los fragipanes. Estos valores no inhibirían la formación de fragipanes por rotura de unidades estructurales debido a procesos de expansión-contracción (Ritchie et al., 1974). Además, estos horizontes poseen arcillas predominantemente de tipo illítico.

Los pedones tienen dos perfiles de suelo enterrados debajo del suelo actual y los fragipanes se presentan en el material más antiguo. Asimismo, ambos paleosuelos poseen horizontes con características de argílicos, pero en el más antiguo el proceso de ilimerización se encuentra mejor expresado. Este proceso, invocado como parcialmente responsable de formación de fragipanes (Lindbo y Veneman, 1989), podría haber afectado no solamente a los vacíos de conducción del suelo sino también a la matriz del mismo, favoreciendo la formación de puentes de arcilla y modificando la distribución relativa inicial de los componentes del suelo. Los paleosuelos, cualquiera sea su edad, están mostrando claramente las condiciones de su génesis en un clima húmedo por la abundancia de los rasgos de ilimerización.

Los paleosuelos más antiguos, en los que se han desarrollado los fragipanes, se hallan carbonatados. Este hecho es frecuente en paleosuelos desarrollados sobre loess, donde se produce una redistribución del carbonato de calcio, no

así en la mayoría de los fragipanes, que carecen del mismo. Observaciones con microscopía óptica mostraron que el proceso de carbonatación es posterior al de ilimerización ya que los calcitanes se hallan recubriendo y rompiendo los rasgos de iluviación preexistentes y rellenando los vacíos del suelo. Asimismo, la invasión micrítica de la matriz produce la nodulación de la misma. La carbonatación sería un proceso que contribuiría al endurecimiento de los paleohorizontes.

Analizando algunos rasgos de la microfábrica podríamos explicar en parte el carácter quebradizo de los fragipanes. Los horizontes con características de fragipán estudiados poseen puentes de material fino entre los granos del esqueleto, ya sea de arcilla o de arcilla y limo, que actúan como uniones, semejantes a las descritas por Payton (1981) y Wang et al. (1974), como también existen zonas donde los granos del esqueleto presentan entrelazamiento estrecho. En este tipo de empaquetamiento es poco probable que se desarrollen procesos de cambio de volumen pues el aumento del mismo es resistido por los puentes intergranulares. La resistencia es mayor cuando el material está seco y la atracción entre las partículas de arcilla es máxima. Este fenómeno le confiere al material del suelo consistencia firme.

Cuando el suelo se humedece se produce un suave hinchamiento de los puentes de arcilla, produciendo leve deformación plástica. Sin embargo, como el contenido de arcilla illítica es moderada en la matriz del suelo, la forma y ordenamiento de los granos de la misma hacen que la deformación sea mínima. La ruptura por compresión será abrupta cuando se superan los efectos de entrelazamiento entre los puentes y granos. Es claro que las características de consistencia fuerte dependen del contenido de humedad. Además, en ausencia de cementación el contenido y tipo de arcilla es crítico.

El término "fragipán" se ha utilizado en este trabajo en sentido amplio, con el

significado de un horizonte que presenta consistencia dura o muy dura en seco, quebradiza en húmedo y susceptibilidad a desleírse en agua. Según el significado estricto utilizado para caracterizar al fragipán como horizonte de diagnóstico en Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1975, 1992) los horizontes estudiados no cumplirían algunas de las exigencias. En particular, carecen de los prismas gruesos definidos por vetas verticales que, en un corte horizontal, presentan un diseño poligonal. Además, la densidad aparente no siempre es superior a la de los horizontes suprayacentes.

CONCLUSIONES

Se han identificado suelos con discontinuidades litológicas, suelos enterrados y fragipanes. Estas características serían consecuencia de variaciones climáticas del pasado (especialmente precipitaciones), que en la región serían más acentuadas que en áreas situadas más al Este o al Oeste. La ausencia de horizontes eluviales en los paleosuelos señalan la actuación de procesos erosivos previos a los procesos de depositación más recientes. Esta remoción de los horizontes A sería una consecuencia de la disminución de la cobertura vegetal durante períodos secos.

Si consideramos los rasgos de ilimerización como una medida de la eficiencia hídrica, los paleosuelos reflejan condiciones de humedad superiores a las medias históricas y similares a la del actual ciclo húmedo. Así, los cutanes de iluviación están muy bien expresados, en contraposición a cutanes de otros suelos desarrollados en condiciones de menor aporte hídrico (medias históricas de 700 mm).

Las propiedades de los fragipanes responderían a una combinación de procesos sedimentario-pedológicos. Por un lado, las características texturales y mineralógicas del material originario han determinado un empaquetamiento denso y por otro, procesos de intensa

ilimerización han generado los puentes de arcilla y de arcilla y limo.

El proceso de carbonatación en vacíos del suelo ha contribuido al endurecimiento. Los paleosuelos más profundos po-

seen un endurecimiento reversible que permiten clasificarlos como fragipanes en sentido general, aunque no reúnen todas las exigencias del sistema Taxonomía de Suelos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Lic. Mario da Silva en tareas de campo, del Lic. Jorge Maggi (Centro de Investigaciones Geológicas) en la realización de los registros difractométricos y de la Lic. María L. Mormeneo en los análisis granulométricos.

REFERENCIAS

- BONFILS, P.E.; CALCAGNO, J.E.; ETCHEVEHERE, P.H.; IPUCHA AGUERRE, J.; MIACZYNSKI, C.R.O. y TALLARICO, L.A., 1960. Suelos y erosión en la región pampeana semiárida. *Revista de Investigaciones Agrícolas*, XIII, No. 4. INTA, Buenos Aires.
- BREWER, R., 1976. *Fabric and mineral analysis of soils*. John Wiley and Sons, New York. 470 p.
- BRONGER, A. y HEINKELE, T., 1989. Paleosol sequences as witnesses of Pleistocene climatic history. En: Bronger y Catt. *Paleopedology*. Catena Supplement 16. 1633-1. Catena Verlag, W. 232 p.
- CAMILIÓN, M.C. e IMBELLONE, P.A., 1984. Caracterización de los materiales constituyentes de algunos suelos del partido de Carlos Tejedor, provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*, 2: 137-148.
- DILLON, A.A.; HURTADO, M.A.; GIMÉNEZ, J.E. y CASTILLO, R.J., 1985. Consideraciones geomorfológicas y estratigráficas como base del carteo de suelos de un sector de la Pampa Arenosa (Provincia de Buenos Aires). *Actas Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses*. Tandil. 733-749.
- ETCHEVEHERE, P.H., 1975. Suelos. *Relatorio VI Congreso Geológico Argentino*. Bahía Blanca. 219-229 p.
- HURTADO, M.A.; DILLON, A.A.; GIMÉNEZ, J.E. y CASTILLO, R.J., 1985. Incidencia de factores pedogenéticos en suelos del partido de Carlos Tejedor (Provincia de Buenos Aires). *Actas Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses*. Tandil. 751-763. (Pub. Bahía Blanca, 1989).
- IMBELLONE, P.A. y CAMILIÓN, M.C., 1984. Aplicación de diferentes criterios para identificar discontinuidades litológicas. Partido de Carlos Tejedor. Provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*, 2. 149-158.
- IMBELLONE, P.A. y CAMILIÓN, M.C., 1988. Characterization of the buried layer of tephra in soils in Argentina. *Pédologie*, 38:155-171.
- IMBELLONE, P.A. y TERUGGI, M.E., 1993. Paleosols in loess deposits of the Argentine Pampas. *Quaternary International*. 17: 49-55.
- INSTITUTO DE PEDOLOGÍA, 1973. Levantamiento semidetallado de suelos en el sector Daireaux-Pirovano (Provincia de Buenos Aires). Convenio Municipal de Daireaux-Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Informe de tirada reducida. 46 pag. y mapas.
- INTA, 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala: 1: 500,000. CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras, Castelar.
- INTA, 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Escalas 1:500.000 y 1:1.000.000. CIRN. INTA.
- LINDBO, L.D. y VENEMAN, P.L.M., 1989. Fragipans in the Northeastern United States. En: *Fragipans: Their Occurrence, Classification, and Genesis*. Smeck, N. y Ciolkosz, J. (Ed.). SSSA Special Publication No. 24. Wisconsin, USA.
- MEHRA, O.P. y JACKSON, M.L., 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with bicarbonate. *7th Nat. Conf. Clays and Clay Minerals*. 5:317-327.
- PAYTON, R.W., 1981. The micromorphology of some fragipans and related horizons in British soils with particular reference to their consistence characteristics. En: *Soil Micromorphology*, Bullock, P. y Murphy, C.P. (Ed). Rothamsted. AB Academic Publishers. 317-335.
- PETERSEN, G.W.; RANNEY, R.W.; CUNNINGHAM, R.L. y MATELSI, R.P., 1970. Fragipans in Pennsylvania soils: a statistical study of laboratory data. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 34, 719-722.
- PYE, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press. London. 334pp.
- RITCHIE, A.; WILDING, L.P.; HALL, G.F. y STAHNKE, C.R. 1974. Genetic implications of B horizons in Aqualfs of northeastern Ohio. *Soil Sci. Soc. A. Proc.* 38, 351-358.
- SMECK, N.E.; THOMPSON, M.L.; NORTON, L.D. y SHIPITALO, M.J., 1989. Weathering Discontinuities: A Key to Fragipan Formation. En: *Fragipans: Their Occurrence, Classification, and Genesis*. Smeck, N. y Ciolkosz, J. (Ed.). 99-112. SSSA Special Publication No.24. Wisconsin, USA.
- SOBRAL, R.; VIGNALE, A.; ALFIERI, A. y PECORARI, C., 1993. Suelos overos del NO Bonaerense. Antecedentes, descripción, evaluación y conclusiones. Boletín de Divulgación Técnica No. 101. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. INTA.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil Taxonomy. A System for making and interpreting soil surveys. Agriculture Handbook No. 436. U.S. Department of Agriculture, Washington. 754 p.
- SOIL SURVEY STAFF, 1992. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 19. 5a. Edición Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia. 541 p.
- SOIL SURVEY STAFF, 1981. Soil Survey Manual. Chapter 4: Examination and description of soils in the field. Draft edition.
- WANG, C.; NOWLAND, J.L. y KODAMA, H., 1974. Properties of two fragipan soils in Nova Scotia including scanning electron micrographs. *Can. J. Soil Sci.*, 54, 159-170.

APENDICE

Descripción de Suelos

PEDON 1

Unidad geomorfológica: Area plana adyacente a depresión de interduna.

Drenaje: Imperfectamente drenado.

Pendiente: 0.5 %

A: 0-18 cm; pardo grisáceo a gris parduzco claro (10YR 5.5/2) seco, pardo grisáceo (10YR 3/2) húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares medios, finos, débiles; blando, friable; moteados escasos, finos y débiles; raíces muy abundantes; límite neto y plano.

2Btb: 18-38 cm; pardo claro (7.5YR 6/4) seco, pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) húmedo; franco arcillo limoso; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; muy duro; barnices arcillo-húmicos comunes; moteados escasos, finos y débiles; raíces abundantes; límite claro y plano.

2BCb1: 38-53 cm; pardo a pardo claro (7.5YR 6/3) seco, pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) húmedo; franco arcillo limoso; estructura laminar, fina, moderada; muy duro; barnices arcillo-húmicos comunes a escasos en caras de las láminas; leve reacción de carbonatos en la masa; raíces comunes límite gradual y plano.

2BCb2: 53-67 cm; pardo (7.5YR 5/4) seco, pardo oscuro (7.5YR 3/4) húmedo; franco limoso; estructura laminar con tendencia a masiva; duro; barnices arcillo-húmicos abundantes en las caras de las láminas, leve reacción de carbonatos en la masa; raíces escasas; límite neto y plano.

3Btkxb': 67-80 cm; pardo claro (7.5YR 6/4) seco, pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) húmedo; franco arcilloso; estructura en prismas medios, moderados que rompen a bloques angulares; quebradizo; presencia de carbonato en los poros de antiguas raíces; límite claro y plano.

3BCkxb': 80-123+ cm; pardo claro (7.5YR 6/4) seco, pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) húmedo; franco arcilloso; estructura laminar media, fuerte; muy duro, quebradizo; barnices arcillo-húmicos comunes en las caras de las láminas; concreciones de carbonato irregulares abundantes; raíces escasas.

El símbolo ' denota diferentes ciclos paleopedogenéticos.

PEDON 2

Unidad geomorfológica: Area plana adyacente a depresión de interduna.

Drenaje: Imperfectamente drenado

Pendiente: 0,5 %

A: 0-16 cm; pardo grisáceo (10YR 5/2) seco, pardo grisáceo oscuro (10YR 3/2) húmedo; franco; estructura en bloques subangulares, finos, débiles con tendencia a granular; blando, muy friable; moteados finos, comunes; raíces muy abundantes; límite claro y plano.

2Ab: 16-30 cm; pardo grisáceo oscuro (10YR 4.5/2) seco, pardo muy oscuro (10YR 2/2) húmedo; franco; estructura en bloques subangulares, finos, débiles; blando, muy friable; raíces abundantes; límite claro e irregular.

2ACb: 30-40 cm; pardo rosado a pardo claro (7.5YR 6/3) seco, pardo oscuro (7.5YR 6/3) húmedo; franco limoso; masivo; ligeramente duro, friable; raíces comunes; límite neto y plano.

3Btb': 40-52 cm; pardo (7.5YR 5/4) seco, pardo oscuro (7.5YR 3/4) húmedo; franco arcillo limoso; estructura en prismas, medios moderados; duro, firme; barnices arcillo-húmicos comunes; raíces comunes; límite neto y plano.

3BCb': 52-64 cm; rosado a gris rosado (7.5YR 7/3) seco, pardo oscuro (7.5YR 4/3) húmedo; franco limoso; estructura laminar con tendencia a masiva; duro, firme, ligeramente plástico, adhesivo; barnices arcillo-húmicos comunes a escasos; moteados escasos, finos y débiles; leve reacción de carbonatos en la masa; raíces comunes; límite neto y plano.

4Btkxb'': 64-96 cm; pardo claro (7.5YR 6/4) seco, pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) húmedo; franco arcilloso; estructura laminar, media, moderada; muy duro, quebradizo; barnices arcillo-húmicos comunes en las caras de las láminas; concreciones irregulares de carbonato, finas, comunes; moderada cantidad de carbonato en cavidades dejadas por raíces y entre láminas; límite gradual y plano.

4BCkxb'': 96-118 cm; amarillo rojizo (7.5YR 6/6) seco, pardo oscuro (7.5YR 4/6) húmedo; franco arcilloso; estructura laminar, media, débil, con tendencia a masivo; duro, quebradizo; barnices arcillo-húmicos comunes a escasos en las caras de las láminas; concreciones irregulares de carbonato, finas, comunes, presencia de carbonato de calcio entre láminas y en cavidades dejadas por raíces; límite gradual y plano.

5Cb'': 118-137 cm; rosa (7.5YR 4/4) seco, pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) húmedo; franco; masivo; límite neto y ondulado.

5Ckmb'': 137-140+ cm; acumulación de carbonato de calcio endurecido.