ANALISIS TEXTURAL Y PEDOGENESIS DE SUBGRUPOS DE SUELOS DEL PARTIDO DE MAGDALENA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

M.L. Osterrieth y F.N. Cabría

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata (7600) C.C. 722

RESUMEN

Con el objeto de evaluar cuali-cuantitativamente la homogeneidad/heterogeneidad granulométrica en materiales originarios y su relación con la evolución pedogenética, se analizaron características texturales en ocho perfiles de suelo. El estudio se realizó en base a los parámetros estadísticos multivariados desarrollados por Langhor 1976 y Hottelling (1933, 1936). Los gráficos construídos a partir de los parámetros estadísticos (Folk y Ward op. cit.) fueron confusos y no permitieron discernir entre sedimentos pedogeneizados y no pedogeneizados. Los resultados obtenidos al aplicar los los métodos estadísticos multivariados fueron aditivo-complementarios. Estos confirmaron discontinuidades litológicas observadas en el campo y permitieron indicar la presencia de otras. Los índices comparativos de distribución granulométrica (CPSD) fueron útiles para explicar diferencias texturales de suelos evolucionados en ambientes geológicos distintos. Las relaciones intrapedón de los suelos ricos en partículas finas (arcillas) no fueron interpretables geológica o pedológicamente. En cambio, los componentes principales dejaron manifiesta su utilidad para analizar la variabilidad en fracciones granulométricas de suelos, hayan o no evolucionado desde materiales granulométricamente homogéneos y/o ricos en arcillas.

Palabras claves: análisis granulométrico,. pocesos pedogenéticos, métodos estadísticos multivariados, discontinuidades litológicas.

TEXTURAL ANALYSIS AND PEDOGENESIS OF SOIL SUBGROUPS COUNTY, BUENOS AIRES (ARGENTINA)

ABSTRACT

In order to evaluate qualitative and quantitatively the granulometric homogeinety and heterogeinety in original materials and their relation with the pedogenic evolution, textural characteristics from eight soil profiles were analyzed. This study was based on statistical parameters (Folk and Ward 1971) and multivariate methods (Langhor 1976) and (Hotteling 1933, 1936).

No altered and unaltered sediments by pedogenetic processes were discriminated by these statistical parameters and the graphics were unclear. The results obtained by multivariate methods (cluster and principal component) were additive and complementary. They confirmed some lithologic discontinuity already found in the field and allowed to detect others. The comparative particle size distribution indices (CPSD) were useful to explain textural diferences in soils developed in different geological enviromments. The intrapedon relations of soils rich in fine particles (clay) could not be interpreted from a geological or pedological point of view. However, the principal components showed their usefulness for analyzing the variability in grain-size fractions analysis of soils, whether evolved from granulometrically homogeneous materials and rich in clays or not.

Key words: grain-size analysis, pedogenetic processes, multivariate statistical methods, lithologic discontinuity.

INTRODUCCION

Es sabido que los distintos tipos de sedimentos afectados por pedogénesis influyen en las características de los suelos, y son modificados a la vez en mayor o menor medida por procesos sindeposicionales y postdepósicionales. Así al estudiar la génesis de los suelos se torna importante evaluar cuali-cuantitativamente la homogeneidad/heterogeneidad litológica de los materiales parentales y su relación con la evolución pedogenética.

Los datos granulométricos son sencillos de obtener pero difíciles de interpretar, especialmente a la hora de

justificar las variaciones de los distintos tamaños de partículas en función de fenómenos sindeposicionales o postdeposicionales (ej. pedogénesis); o cuando se los pretende relacionar con los procesos ambientales a los que se asocian. Así muchas veces nos llegamos a cuestionar si la información resultante de la densidad de observaciones tiene significado geológico y/o pedológico.

Son numerosos los trabajos sedimentológicos aplicados a materiales de origen fluvial, eólico, o marino, pero escasos los referidos a distintos tipos de sedimentos afectados por procesos pedogenéticos. Se cuenta con pocos estudios del análisis de distribución granulométrica en los suelos de nuestro país. Algunos de los autores que han trabajado en el tema fueron Scoppa y Pazos (1981) quienes analizaron los datos texturales con criterio pedogenético. Más recientemente Morrás (1983), e Imbellone y Camilión (1984) han trabajado especialmente orientados hacia la identificación de discontinuidades litológicas.

El presente trabajo intenta contribuir a través de un estudio granulométrico en ocho perfiles de suelos al conocimiento de la relación entre sus materiales parentales y las condiciones ambientales y procesos sindeposicionales y postdeposicionales en los subgrupos de suelos de mayor distribución areal en el partido de Magdalena, pcia. de Buenos Aires (Osterrieth, 1979).

MATERIALES Y METODOS

El estudio granulométrico se realizó a partir de muestras correspondientes a ocho perfiles de suelos, indicados como perfiles representativos de los subgrupos de suelos con mayor distribución areal en el partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires (Osterrieth, op. cit.). Los suelos pertenecen a los siguientes taxones (subgrupo de suelo según Soil Taxonomy, 1975) y Unidad de paisaje. 1. Argiudol vértico, interfluvio; 2 y 3. Natracualf típico, pendiente; 4. Peludert típico, interfluvio; 5. Natracualf típico fase erosionada, albúfera; 6. Haplacuol éntico, cordón conchil; 7. Haplacuol típico, planicie aluvial; 8. Rendol típico, cordón conchil. La separación de la fracción mineral inorgánica del suelo permite clasificarla en clases por tamaño de partícula. Se determinaron proporciones relativas en peso para la cual se utilizó el sistema propuesto por el Departamento de Agricultura de los EE.UU. (Soil Toxonomy, op. cit.) para partículas menores a 2 mm de diámetro.

En virtud de la preponderancia de la fracción limo para la mayoría de los suelos estudiados se la dividió en dos fracciones: limos finos (2-20μ) y limos gruesos (20-50μ)

Se determinó la textura de cada uno de los horizontes de suelos previa eliminación de elementos cementantes como materia orgánica, carbonatos y óxidos de hierro, dispersándose químicamente con hexametafosfato de sodio y físicamente con agitador de alta velocidad. La fracción mayor a 53μ se separó por tamizado en seco según escala del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (Soil Survey Staff, 1975). Las menores de 53μse separaron mediante el método de la "Pipeta" utilizando los tiempos establecidos por Brewer (1964).

Obtenida la distribución granulométrica completa, se calcularon mediante programas de computación desarrollados desde planillas electrónicas Lotus 1,2,3, cuatro parámetros estadísticos sedi-mentológicos según Folk y Ward (op. cit.). Las técnicas estadísticas multivariadas utilizadas fueron análisis de agrupamiento (Langhor et al, 1976) quien la denominó Indice comparativo de distribución granulométrica (CPSD) y componentes principales (CP) (Hotelling, 1933, 1936). Para calcular los CPSD, se utilizó el programa denominado SIMI preparado por el Dr. A Van Wambeke [1]. El programa construye fenogramas a través de un análisis de agrupamiento entre muestras. El método de agrupamiento utilizado es el ponderado por pares (Davis et al, 1973). La interpretación de los fenogramas se realizó siguiendo los lineamientos propuestos por Crisci y López Armengol (1983).

El análisis de (CP) se realizó según los conceptos desarrollados por Hotelling (op cit.). Este utilizó a los (CP) como una técnica particular en el análisis de estructuras de correlación. Los cálculos se realizaron a través del programa NTSYS-PC (Rohlf, 1988).

Cada (CP) es una ecuación lineal entre las variables originales con propiedades particulares en términos de varianza. Así el primer (CP) es la combinación lineal normalizada con máxima varianza (Anderson, 1957).

$$Y1 = e11 \cdot x1 + e21 \cdot x2 + \ldots\ldots + ei1 \cdot xi$$

siendo:

Y1: primer componente principal o autovalor

eli: autovector de la variable i correspondiente al primer componente principal

xi: valor normalizado de la variable original i

Los (CP) se interpretaron como el porcentaje de la varianza total asociado a cada autovalor:

$$\%\sigma t\ y\ 1 = (L1 / \sigma t) \times 100$$

siendo:

$\%\sigma t\ y\ 1$:	porcentaje de la varianza total asociado al primer componente principal
$\frac{L1:}{\sigma t:}$	primer autovalor / varianza total

Para facilitar la interpretación de los resultados se construyeron gráficos en los cuales se ubica a los individuos centrados (horizontes de suelo) en el espacio de las variables (componentes principales).

Con ambos programas se procesaron inicialmente seis fracciones granulométricas entre 2 y 2.000 micrones, recalculándose los porcentajes sobre esta nueva base ya que el análisis granulométrico inicial incorporó fracciones menores a 2.000 micrones. La no incorporación de partículas menores a 2 micrones (arcillas) tuvo por objeto eliminar aquella fracción granulométrica en la cual las diferencias en tamaño podrían ser el resultado de la acción de procesos formadores de suelos, Scoppa y Pazos (op cit.).

Del análisis de los resultados obtenidos como señalamos en el párrafo anterior y al considerar que los materiales loéssicos del

[1] *Profesor de la Universidad de Gante (Belgica) y Cornell (EEUU).*

área poseen proporciones importantes de arcillas, (19,6% para el horizonte C del Argiudol vértico y 31,87%; 25,87% y 5,1% en los materiales parentales aluviales del Peludert típico, Natracualf típico y Haplacuol típico) se resolvió realizar un análisis de (CP) incluyendo dicha fracción.

DESCRIPCION DE LOS RESULTADOS

Grupos bivariados

En la mayoría de los perfiles predomina la fracción limo (2 a 50μ) con porcentajes que superan el 40%, a excepción del Haplacuol éntico y Rendol típico donde prevalece la fracción arena fina (100 a 250 μ). (**Tabla 1**).

Los histogramas de frecuencia graficados (**Fig. 1**), permiten visualizar y comparar, de modo general, las tendencias distributivas predominantes, a pesar que los intervalos de clases no son iguales en virtud de la metodología descriptiva empleada. Se observa el carácter unimodal de la distribución con moda en limo fino (2 a 20μ), en todos los horizontes del Argiudol vértico y del Natracualf típico, excepto en el horizonte A12 de este último donde la distribución es bimodal, con un enriquecimiento en arcilla y limo grueso.

El Peludert típico tiene su moda principal en la fracción arcilla (<2μ) en todos los horizontes iluviales, mientras que en los eluviales y en el material parental la moda se presenta en los limos finos.

El Natracualf típico (fase erosionada) de la albúfera, presenta una distribución variable a lo largo del perfil, ya que alternan distribuciones unimodales y bimodales, en coincidencia con las discontinuidades litológicas detectadas por sus variaciones morfológicas.

El Haplacuol típico de la planicie de inundación presenta su moda en la fracción limo fino y podría señalarse una discontinuidad litológica donde la moda principal coincide con las arenas muy finas (100 a 50μ) y secundaria en la fracción limo fino (entre los horizontes B2 y C).

Los suelos evolucionados a partir de depósitos costeros como el Haplucol éntico, tiene nsu moda muy marcada en arena fina; el Rendol típico presenta histogramas bimodales con moda principal en arcillas y secundaria en arenas finas para los horizontes superficiales, mientras que el material parental, tiene mayor proporción de arenas finas y muy finas.

Las distribuciones acumulativas muestran curvas del tipo convexo en la mayoría de los casos.

El análisis de los parametros estadísticos sedimentológicos denota que el valor de la media (Mz) fluctúa para la mayoría de los perfiles entre los 6 y 20μ. La selección es pobre en todos los perfiles evolucionados en ámbito continental y transicional (1, 2, 3 y 4); para los perfiles 5, 7 y 8 del sector costero la selección es muy pobre.

Los valores de curtosis indican que los perfiles del área continental tienen curvas muy platicúrticas (perfiles 1 a 4). En los suelos desarrollados en ambientes transicionales de tipo aluvial, la curtosis es muy variable y en los suelos de escaso desarrollo como el Hapludol y Rendol las curvas van de muy leptocúrticas a extremadamente leptocúrticas desde arriba hacia abajo en el perfil.

Técnicas multivariadas

La **Fig. 2a,** muestra el fenograma construido a partir de los CPSD calculados desde seis fracciones granulométricas. Los horizontes de suelo se enriquecen en partículas finas desde el grupo (A) hacia el (B4). Al nivel 41.13 se observan dos grupos bien diferenciados, el grupo (A) formado por horizontes de suelo en los cuales las fracciones proporcionalmente más importantes son arenas finas, y el (B) en el cual los horizontes son ricos en arenas muy finas y limos. Dentro del grupo (B) encontramos cuatro subgrupos (niveles 65,10; 80,19 y 89,19). El subgrupo (B1) incluye a los horizontes de suelo con proporciones semejantes de arenas y limos, mientras que los horizontes de los subgrupos (B2) y (B3) poseen mayor proporción de limos que de arenas. El subgrupo (B3) posee mayor proporción de limos finos que el subgrupo (B2) alcanzando su máxima expresión en el trío (B4), nivel 89,19.

Los agrupamientos (A y B1) de la **Fig. 2a** y la distribución de los horizontes dentro del grupo (A) sugieren mayor similitud para suelos desarrollados en igual ambiente geomórfico y condiciones ambientales sindeposicionales (perfiles 6 y 8 cordón conchil y perfiles 5 y 7, albúfera, planicie aluvial). Los horizontes de suelo que constituyen el grupo (A) de la **Fig. 2a** evidencian una mayor similitud intrapedón que entre pedones (suelos desarrollados en ámbito costero).

El grupo (B1) de la **Fig. 2** y el fenograma de la **Fig. 2b** muestran alta similitud entre los horizontes inferiores del perfil 5 y el material madre del perfil 7. Los restantes horizontes del perfil 7 se unen al horizonte IIB2 del perfil 5, encontrándose al horizonte superficial de este último asociado a los suelos loéssicos continentales (interfluvio). Estas relaciones denotan que la similitud intrapedón de los suelos ubicados en la albúfera y la planicie de inundación es menor a la existente entre horizontes de suelos distintos. En los subgrupos (B2, B3 y B4) no fue posible reconocer relaciones geológicas y/o pedológicas desde la granulometría de los horizontes de un pedón y/o entre pedones (**Fig. 2a**). Sólo quedó reflejada la progresiva disminución en el tamaño de las partículas a medida que los suelos se ubican en interfluvios.

Los parámetros necesarios para interpretar los gráficos construidos al realizar un análisis de (CP) con horizontes de suelos definidos a través de seis fracciones granulométricas se resumen en la **Tabla 2**.

Tabla 1: Análisis granulométrico y parámetros estadísticos sedimentarios

Perfil (Hz)	Profundidad (en cm)	Intervalos Granulométricos 0-2u	2-20u	20/50u	50/105u	105/250u	250/500u	>500u	Parámetros estadístico/sedimentarios Mz	Sgi	Ski	K	(N)
1:													
A1	0- 12	14.60	43.67	25.34	15.78	0.46	0.10	0.06	6.66	1.81	0.21	0.73	11
B21	12- 38	18.26	44.61	27.00	9.36	0.76	0.10	--	6.66	1.80	0.13	0.70	12
B22	38- 59	21.52	43.20	27.37	7.62	0.26	0.03	--	6.86	1.82	0.12	0.63	13
B23tca	59- 85	42.50	31.70	18.75	6.73	0.26	0.05	0.01	7.46	1.77	-0.42	0.59	14
B31	85-118	29.74	41.51	23.20	4.03	1.52	--	--	7.23	1.79	-0.15	0.61	15
B32	118-138	28.08	40.02	24.91	6.82	0.16	0.01	--	7.06	1.79	1.36	0.56	16
C1	138-160	19.66	45.16	27.68	7.24	0.23	0.02	--	6.80	1.75	0.17	0.67	17
C2	160-200	19.17	48.75	25.28	6.50	0.20	0.06	--	6.90	1.71	0.19	0.71	18
2:													
A11	0- 15	21.51	32.22	31.21	9.65	4.22	1.15	0.03	6.50	2.07	0.21	0.51	21
A12	15- 26	31.00	24.60	27.07	12.45	1.22	3.68	0.03	6.76	2.04	4.59	0.58	22
A2	26- 35	21.15	34.18	29.44	13.50	0.86	0.56	0.31	6.56	1.91	0.35	0.56	23
B21t	35- 59	27.38	29.21	21.83	10.46	0.90	0.32	--	6.86	1.90	0.10	0.57	24
B22	59- 77	26.30	44.20	16.64	12.16	0.50	0.20	--	7.00	1.88	-5.76	0.57	25
B3	+ 77	25.87	36.72	25.24	11.54	0.48	0.15	--	6.80	1.88	8.74	0.56	26
3:													
A	0- 14	20.37	44.26	21.66	12.71	0.72	0.23	0.05	6.66	1.42	0.18	0.62	31
B2t	14- 25	32.54	30.25	26.93	9.38	0.62	0.18	0.05	7.00	1.87	-4.9	0.55	32
4:													
A1	0- 9	32.81	34.78	25.26	6.47	0.48	0.20	--	7.16	1.83	-0.14	0.56	41
B21t	9- 51	48.86	19.41	25.40	5.60	0.36	0.27	0.02	7.16	1.92	-0.23	0.52	42
B22t	51- 80	58.77	18.80	16.79	5.00	0.57	0.05	0.02	7.80	1.77	-0.91	0.65	43
B31t	80-103	38.21	31.22	27.89	7.43	0.20	0.02	0.01	6.93	1.84	0.11	0.53	44
B32	103-120	26.11	44.05	22.29	7.26	0.24	0.05	--	7.10	1.75	-7.99	0.56	45
C	120-180	31.87	44.32	19.01	4.58	0.20	0.02	--	7.23	1.72	-8.75	0.54	46
5:													
B21t	0- 19	36.34	22.55	24.66	16.13	0.27	0.03	0.02	6.69	2.00	0.90	0.52	51
IIB22	19- 40	8.57	35.75	23.95	20.37	8.33	0.12	--	5.83	2.16	1.82	0.90	52
IIIB3	40- 72	4.57	24.75	30.50	37.07	2.37	0.74	--	5.16	1.69	0.33	1.27	53
IIIC	72- 79	5.10	21.40	17.90	55.00	0.60	0.02	0.01	4.83	1.66	0.50	1.20	54
6:													
A	0- 28	6.80	6.26	4.35	17.96	63.70	0.75	0.11	3.30	1.76	0.73	2.39	61
AC	28- 76	4.00	6.41	4.09	21.90	63.02	0.53	0.05	3.10	1.40	0.72	2.45	62
C	76-100	5.40	0.68	2.87	18.29	71.55	1.14	0.07	2.80	1.33	0.69	3.48	63
7:													
A1	0- 18	14.10	37.48	24.80	18.43	4.76	0.52	0.02	6.26	2.10	9.48	0.83	71
B2	18- 30	17.23	31.63	25.00	22.00	3.60	0.50	0.03	6.16	2.17	0.32	0.83	72
C	+ 30	9.68	31.44	17.10	38.88	2.77	0.17	--	5.53	2.00	0.38	0.87	73
8:													
A	0- 20	29.98	21.97	15.93	8.87	18.60	3.98	0.71	5.86	2.70	-4.92	0.54	81
AC	20- 40	24.53	7.97	8.93	13.70	28.70	8.09	2.88	5.10	2.95	0.41	0.49	82
C	+ 40	11.92	10.36	11.14	24.39	33.13	6.76	2.30	4.50	2.58	0.58	1.09	83

Hz: Horizonte **Mz:** Media **Sgi:** Desviación gráfica estándar
Ski: Asimetría gráfica inclusiva **K:** Curtosis gráfica
(N): Notación utilizada en las técnicas multivariadas para identificar los horizontes de suelo

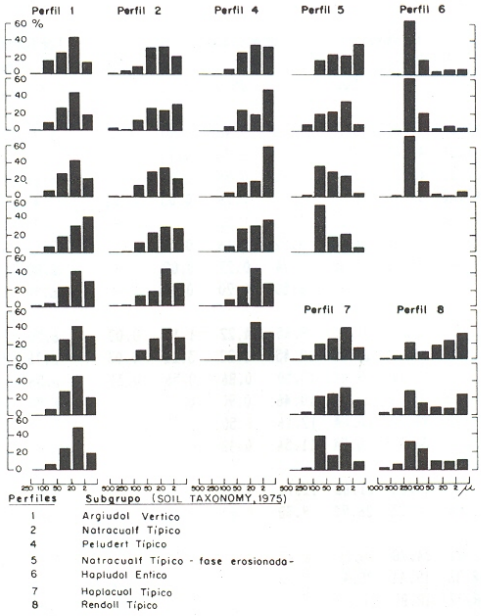

Fig. 1: Histogramas de distribución granulométrica

El 92,08% de la varianza total quedó explicado por los 3 primeros autovalores. El 56,00% de la misma está asociado al primer (CP), el 21,27% al segundo y sólo el 14,82% al tercero. El porcentaje de la varianza del limo fino reconstruido en el primer (CP) es del 76,04%, para el limo grueso 69,72%, arenas finas 68,56%, arenas medias 56,40% y arenas gruesas 54,17%. Nótese que el primer autovalor sólo recupera el 11,09% de la varianza presente en la fracción arena muy fina. El segundo (CP) es una ecuación lineal que incorporó principalmente la varianza asociada a arenas medias y gruesas, siguiendo en orden de importancia decreciente las arenas muy finas, finas y limos. El tercer autovalor es la ecuación lineal que incorporó la mayor proporción de la varianza asociada a la fracción arena muy fina.

En el plano definido por los dos primeros (CP) **(Fig. 3a)** quedó explicado el 77,27% de la varianza total, mientras que para el plano definido por el segundo y tercer (CP) **(Fig. 3b)** correspondió 36,09%.

En el gráfico de la **Fig. 3a** los horizontes encerrados en un círculo pertenecen a suelos ubicados en igual ambiente geomórfico. Nótese que los horizontes de suelos desarrollados sobre los cordones conchiles (A1: Rendol típico y A2: "Hapludol éntico) conforman grupos bien definidos. Estos grupos son coincidentes con los detectados por el análisis de agrupamiento **(Fig. 2a)**. En la distribución de los horizontes a lo largo del primer (CP) podemos observar que los suelos del cordón conchil son los más ricos en arenas, los de los interfluvios (Argiudol vértico, Natracualf típico y Peludert típico) en limos e intermedios los de la albúfera (Natracualf típico) fase erosionada y planicie aluvial (Haplacuol típico). Las fracciones arenas explicadas en el primer autovalor son principalmente las de diámetro mayor a 105 micrones, mientras que en el segundo autovalor encontramos mejor reconstruida la varianza asociada a las arenas de diámetro mayor a 250 micrones. De lo anteriormente descripto se deduce que si bien los suelos del ámbito costero (perfiles 6 y 8) son ricos en arenas, el segundo (CP) dejó claramente manifiesta la abundancia de partículas mayores de 250 micrones en el perfil 8 y de 105 y 250 micrones en el perfil 6. Como se indicó anteriormente el tercer autovalor es una

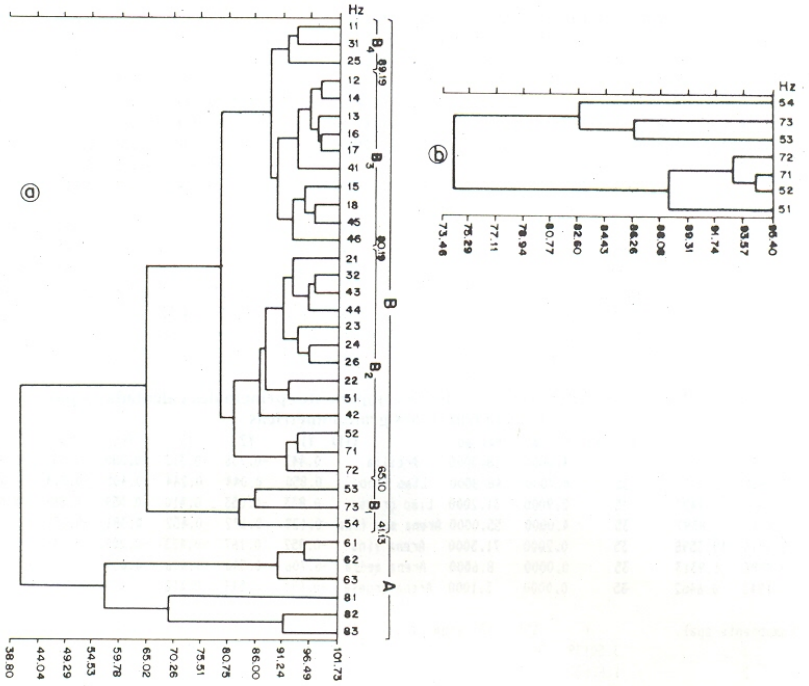

Fig. 2: Fenogramas de similitud basados en índices de 6 fracciones granulométricas entre 20 y 500 μ

ecuación lineal que recupera la mayor proporción de la varianza asociada a las arenas muy finas (50-105 micrones), **(Fig. 3b)**. Nótese que los horizontes de suelos de la albúfera y planicie aluvial se distribuyen a lo largo del tercer (CP) logrando su diferenciación con respecto a los restantes. Este comportamiento sumado al observado en el plano que definieron los dos primeros autovalores indican que los suelos de la albúfera y de la planicie aluvial son ricos en limos y arenas muy finas. Estos gráficos no discriminan claramente los horizontes de suelos de la albúfera y planicie aluvial respecto de los suelos ubicados en los interfluvios. Sin embargo, puede observarse un comportamiento intermedio en suelos de la albúfera y planicie aluvial respecto a los de cordones conchiles e interfluvios. Con respecto a éstos últimos cabe señalar que los parámetros resultantes del análisis de sus (CP) y los gráficos elaborados en función de los mismos, sólo permitieron observar que existe una gran similitud en la granulometría de sus materiales originarios. Las relaciones entre los horizontes de suelos ubicados en estos ambientes, no permitieron realizar otras interpretaciones, coincidiendo con lo obtenido a través del análisis de agrupamiento.

Al incorporar la fracción arcilla al análisis de componentes principales, el porcentaje de la varianza total asociado a los tres primeros autovalores fue del 88,22%, correspondiendo 50,02%; 23,23% y 14,96% al primero, segundo y tercero respectivamente **(Fabla 3)**. El primer autovalor es una ecuación lineal que explica una alta proporción de la varianza debida a los limos y arenas. Arcillas, arenas muy finas junto a las arenas medias y gruesas son reconstruidas en buena proporción por el segundo autovalor **(fig. 3c)**. Los horizontes de suelo se distribuyen de manera tal que evidencian una mayor similitud si han evolucionado bajo igual ambiente geomórfico. Los suelos desarrollados en los cordones conchiles presentaron una mayor similitud intrapedón que entre pedones, mientras que los desarrollados en la albúfera y planicie aluvial no manifestaron una similitud intrapedón tan evidente. Esta última afirmación también

Tabla 2: Parámetros interpretativos de las componentes principales calculadas a partir de seis fracciones granulométricas

(I)

Media	(S)	N muestras	Mínimo	Máximo
30.4486	12.9816	35	0.7000	48.8000
21.3657	7.4423	35	2.9000	31.2000
14.4743	10.8597	35	4.0000	55.0000
9.0914	19.3598	35	0.2000	71.5000
0.8886	1.9313	35	0.0000	8.6000
0.1943	0.6462	35	0.0000	3.1000

(II)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Limo fino	0.872	-0.232	0.004	-0.410	0.130	-0.027
Limo grueso	0.835	-0.328	-0.251	0.308	0.186	0.049
Arena muy fina	-0.333	0.424	-0.836	-0.089	0.038	-0.003
Arena fina	-0.828	0.381	0.310	-0.017	0.269	0.028
Arena media	-0.751	-0.622	-0.125	0.039	0.061	-0.168
Arena gruesa	-0.736	-0.634	-0.122	-0.117	-0.016	0.165

(III)

Componente ppal.	Y	%St	%St acumulado
1	3.35996	56.00	56.00
2	1.27600	21.27	77.27
3	0.88903	14.82	92.08
4	0.28661	4.78	96.86
5	0.12906	2.15	99.01
6	0.05934	0.99	100.00

(IV)

	Y1	Y2	Y3	Y1+Y2	Y2+Y3	Y1+Y2+Y3
Limo fino	76.04	5.38	0.00	81.42	5.38	81.42
Limo grueso	69.72	0.76	6.30	71.48	17.06	86.78
Arena muy fina	11.09	17.98	68.89	29.07	87.87	98.96
Arena fina	68.56	14.52	9.61	83.08	24.13	92.69
Arena media	56.40	38.69	1.56	95.09	40.25	96.25
Arena gruesa	54.17	40.20	1.15	94.37	41.35	95.52

Tabla 3: Parámetros interpretativos de las componentes principales calculadas a partir de siete fracciones granulométricas

(I)

Media	(S)	N de muestra	Mínimo	Máximo
23.3086	12.8307	35	4.0000	58.0000
30.4486	12.9816	35	0.7000	48.8000
21.3657	7.4423	35	2.9000	31.2000
14.4743	10.8597	35	4.0000	55.0000
9.0914	19.3598	35	0.2000	71.5000
0.8886	1.9313	35	0.0000	8.6000
0.1943	0.6462	35	0.0000	3.1000

(II)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
Arcilla	0.447	-0.736	-0.312	0.388	-0.103	-0.002	-0.028
Limo fino	0.850	0.044	0.244	-0.405	-0.224	-0.030	-0.029
Limo grueso	0.833	-0.053	0.410	0.059	0.361	0.046	-0.016
Arena muy fina	-0.429	0.672	0.452	0.381	-0.121	-0.005	-0.024
Arena fina	-0.852	0.167	-0.423	-0.209	0.148	0.023	-0.043
Arena media	-0.706	-0.546	0.406	-0.054	0.075	-0.169	-0.005
Arena gruesa	-0.691	-0.549	0.418	-0.101	-0.092	0.165	-0.001

(III)

Componente ppal.	Y	%St	%St acumulado
1	3.50139	50.02	50.02
2	1.62622	23.23	73.25
3	1.04751	14.96	88.22
4	0.51980	7.43	95.64
5	0.24137	3.45	99.09
6	0.05937	0.85	99.94
7	0.00434	0.06	100.00

(IV)

	Y1	Y2	Y3	Y1+Y2	Y2+Y3	Y1+Y2+Y3
Arcilla	19.98	54.17	9.73	74.15	63.90	83.88
Limo fino	72.25	0.19	5.95	72.44	6.14	78.39
Limo grueso	69.39	0.28	16.81	69.67	17.09	86.48
Arena muy fina	18.40	45.16	20.43	63.56	65.59	83.99
Arena fina	72.59	2.79	17.89	75.38	20.68	93.27
Arena media	49.84	29.81	16.48	79.65	46.29	96.13
Arena gruesa	47.75	30.14	17.47	77.89	47.61	95.36

(I) Parámetros estadísticos de las variables originales (fracciones granulométricas). (II) Matriz de correlación entre los autovalores y las variables originales. (III) Autovalores (Y) y porcentajes de la varianza total (%St) asociados a los mismos. (IV) Porcentajes reconstruidos de las varianzas de las variables originales a partir de los tres primeros autovalores

es válida para los suelos desarrollados en los interfluvios. Sin embargo, si para cada agrupamiento consideramos el tamaño de las partículas de su material madre, su posición geomorfológica y su edad cronológica, los horizontes de suelos más ricos en partículas finas son los más pedogeneizados. Queda exceptuado de esta generalización el horizonte superficial del perfil 5, en el cual el mayor contenido de partículas finas estaría asociado a los aportes sindeposicionales. Esta asociación corroboraría la discontinuidad litológica detectada en el campo (Osterrieth, op cit.).

La **Fig. 3d** muestra gráficos construidos al calcular (CP) de suelos ubicados en interfluvios. En la **Tabla 4** se resumen los parámetros necesarios para la interpretación de los gráficos **(Fig. 3d y 4)**. La varianza total asociada a los cuatro primeros (CP) es del 87,82%. El primer autovalor es un buen reconstructor de la varianza asociada a la fracción arcilla, limo grueso y arenas muy finas. El segundo autovalor lo es para las fracciones limo fino y arcilla. El tercer (CP) es una ecuación lineal que reconstruye la varianza asociada a fracciones de diámetro mayor a 105 micrones, mientras el cuarto autovalor lo hace principalmente para varianza debida a las fracciones limo grueso y arena muy fina. Los agrupamientos se realizaron respecto del primer (CP). Los horizontes con mayor proporción de arcillas del perfil 4 (Peludert típico) y del perfil 1 (Argiudol vértico) definieron el grupo (A). El grupo (B) está constituido por los horizontes eluviales del perfil 2 (Natracuol típico) ricos en limos gruesos y arenas muy finas. Los restantes horizontes de suelos poseen contenidos intermedios de las fracciones mencionadas respecto de los integrantes de los grupos (A y B) conformando el grupo (C).

El gráfico de la **Fig. 4**, es el espacio tridimensional resultado de relacionar el primero, segundo y cuarto autovalor. El espacio definido explica el 73,23 de la

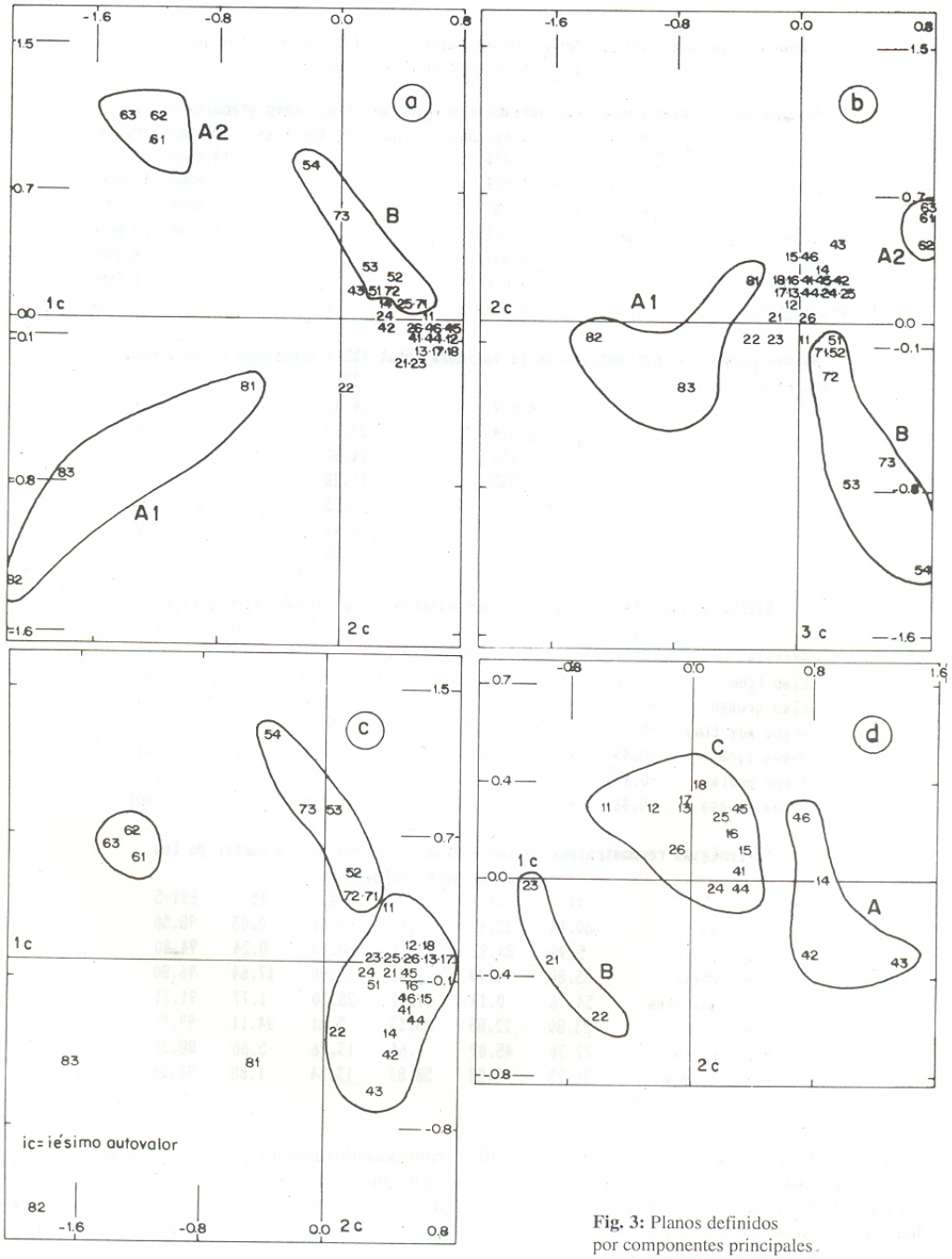

Fig. 3: Planos definidos por componentes principales.

Tabla 4: Parámetros interpretativos de las componentes principales calculadas a partir de siete fracciones granulométricas.

Parànetros estadisticos de las variables originales (fracciones granulomètricas)

	Media	Desvio estandar	Número de muestras	Mínimo	Máximo
Arcilla	29.1700	10.9744	20	14.6000	58.8000
Limo fino	36.6200	8.8336	20	18.8000	48.8000
Limo grueso	24.3700	4.0572	20	16.6000	31.2000
Arena muy fina	8.5150	3.2333	20	4.0000	15.8000
Arena fina	0.7100	0.8973	20	0.2000	4.2000
Arena media	0.3500	0.8389	20	0.0000	3.7000
Arena gruesa	0.0150	0.0671	20	0.0000	0.3000

Autovalores (Y) y porcentajes de la varianza total (%St) asociados a los mismos

Componente principal	Y	%St	%St acumulado
1	2.43819	34.83	34.83
2	1.89824	27.12	61.95
3	1.02180	14.60	76.55
4	0.78935	11.28	87.82
5	0.51339	7.33	95.16
6	0.31435	4.49	99.65
7	0.02469	0.35	100.00

Matriz de correlaciòn entre los autovalores y las variables originales

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
Arcilla	0.775	-0.595	-0.155	0.078	0.016	0.037	-0.114
Limo fino	-0.243	0.921	0.180	-0.045	-0.049	-0.216	-0.092
Limo grueso	-0.747	-0.089	0.169	0.445	0.420	0.177	-0.034
Arena muy fina	-0.740	-0.044	-0.315	-0.503	-0.133	0.281	-0.042
Arena fina	-0.488	-0.478	0.483	0.241	-0.491	-0.012	-0.015
Arena media	-0.472	-0.671	0.128	-0.371	0.238	-0.341	-0.006
Arena gruesa	-0.461	-0.077	-0.767	0.368	-0.137	-0.199	0.001

Porcentajes reconstruidos de las varianzas originales, a partir de los cinco primeros autovaores

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	EY1-5
Arcillas	60.14	35.40	2.40	0.61	0.03	98.58
Limo fino	5.90	84.92	3.24	0.20	0.24	94.40
Limo grueso	55.80	0.79	2.86	19.80	17.64	96.80
Arena muy fina	54.76	0.19	9.92	25.30	1.77	91.31
Arena fina	23.80	22.85	23.33	5.81	24.11	99.90
Arena media	22.28	45.02	1.64	13.76	5.66	88.36
Arena gruesa	21.25	0.59	58.83	13.54	1.88	96.09

varianza total. Los horizontes de suelo de cada perfil tienden a agruparse en un espacio restringido (observar las áreas A, B y C definidas). Las asociaciones de los horizontes de suelos permitirían inferir una mayor similitud intrapedón que entre pedones para los suelos desarrollados en los interfluvios. Sin embargo, desvíos importantes pueden observarse en los horizontes 14 y 45. La desviación de estos horizontes de suelo viene dada por la cantidad de arcillas presente en los mismos. Una interpretación fehaciente con criterio pedológico y/o

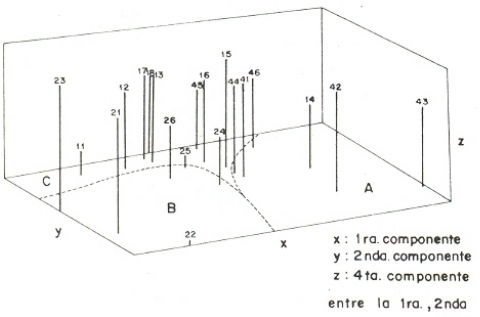

Fig. 4: Representación tridimensional entre la 1ra., 2da. y 4ta. componente principal.

sedimentológico no es factible de realizarse, ya que la variable original arcilla no ha sido definida de manera tal que conlleve el origen de la misma. Sin embargo, las relaciones espaciales observadas permitirían inferir que los suelos de los interfluvios provienen de materiales granulométricamente diferentes entre sí y que las diferencias intrapedón corresponderían a los procesos pedogenéticos acaecidos.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos al aplicar los CPSD indican que los suelos desarrollados en cordones conchiles (perfiles 6 y 8) presentan evidentes diferencias en su composición granulométrica. Estas diferencias son tanto entre los suelos desarrollados en el mismo ambiente geomórfico, así como también con respecto a los suelos de la albúfera, planicie aluvial e interfluvios. Esto sugeriría que los suelos del ámbito costero han evolucionado a partir de materiales originarios granulométricamente disímiles. La gran similitud intrapedón y los tamaños y distribución de las partículas a través de cada perfil nos indicaría que la distribución actual de las partículas respondería a condiciones y eventos particulares sindeposicionales registrados durante los ciclos sedimentarios que los constituyeron.

Las relaciones de los CPSD en horizontes de suelos desarrollados en la planicie aluvial y albúfera, responden a las condiciones inestables sin- deposicionales y postdesposicionales que los caracteriza.

Los horizontes de suelos en los interfluvios poseen CPSD siempre mayores de 80.00 y sus asociaciones no han permitido realizar interpretaciones geológico-pedológicas satisfactorias. La primera afirmación es coincidente con lo expuesto en párrafos anteriores en el sentido de que la metodologiá ha permitido separar suelos desarrollados en ambientes geomórficos distintos. El segundo ítem debe considerarse, pues índices de similitud mayores de 80.00 denotan materiales originarios con distribuciones granulométricas muy semejantes. Según Davis (1973), valores de tal magnitud pueden llevar a que las relaciones de los individuos representadas en el plano (fenograma) a través de las técnicas de agrupamientos se desvíen de su verdadera posición en el espacio. Por otra parte los suelos desarrollados en los interfluvios se caracterizan por evolucionar a partir de materiales ricos en partículas finas. El no haber incorporado a la fracción arcilla y basar los cálculos en porcentajes recalculados pudieron haber relacionado erráticamente horizontes de suelos. Esta afirmación se basa en que los porcentajes recalculados no necesariamente deben coincidir con las proporciones originales de los materiales parentales si ellos han sido ricos en arcillas. Esta última consideración ya no sólo habla de una limitación en la técnica empleada sino de una incorrecta selección de las variables seleccionadas.

La interpretación de los resultados obtenidos a partir del análisis de (CP) ha permitido explicar relaciones entre textura y pedogénesis que no fueron reflejadas en los fenogramas. Las relaciones de los horizontes de suelos evolucionados a partir de materiales originarios de texturas finas no han sido factibles de una total interpretación. Sin embargo, la distribución de los horizontes de los suelos en el espacio definido por los (CP) mostraron un arreglo aparentemente plausible de ser explicado. Si la fracción arcilla se discriminara a través de variables que definan su origen, y/o las nuevas variables definidas (autovalores) fuesen calculadas desde matrices de varianzas y covarianzas es posible esperar resultados superiores.

CONCLUSIONES

La metodología empleada nos ha permitido realizar las siguientes observaciones:

Los suelos estudiados presentan una composición y distribución de fracciones granulométricas que es particular para cada ambiente geomórfico. La variación granulométrica intrapedón en los suelos estudiados es menor que la interpedón.

La variabilidad de los sedimentos depositados en ambientes costeros se encuentra principalmente en la fracción arena, mientras que la de los sedimientos depositados en ambientes más continentales se presenta en las arcillas y limos.

La relación textura-pedogénesis no pudo explicarse mediante los parámetros estadísticos (Folk y Ward op cit.) utilizados. Los CPSD han demostrado ser de gran utilidad para detectar las diferencias granulométricas de suelos desarrollados en ambientes geomórficos distintos (Cordones costeros - Albufera, Planicie aluvial - Interfluvio). Sin embargo, relaciones obtenidas entre CPSD de horizontes de suelos evolucionados a partir de materiales ricos en limos y arcillas no tuvieron interpretaciones geológico-pedológicas satifactorias.

Los (CP) son una herramienta de gran utilidad para analizar la variabilidad de las fracciones granulométricas de los suelos, hayan o no evolucionado a partir de materiales ricos en partículas finas.

Si los suelos contienen altas proporciones de partículas finas (arcillas) se requiere de la incorporación de las mismas en el estudio granulométrico mediante los métodos estadísticos multivariados aquí empleados.

Las técnicas utilizadas (CPSD, ACP) no son excluyentes sino aditivo-complementarias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al Dr. Carlos Scoppa por las sugerencias brindadas y a la Lic. Elsa Muro por el procesamiento de los datos para la estimación de los CPSD. Del mismo modo agradecemos la labor desarrollada por la cartógrafa Virginia Bernasconi al realizar las figuras del presente trabajo, y al Dr. Federico Isla por la lectura del mismo.

REFERENCIAS

Anderson, T.W., 1957. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, John Wiley & Sons, Inc. publication in mathematical statistics. New York, 374 p.

Brewer, R., 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley and Sons, Inc., New York, 470 pp.

Crisei, J.C. y M.F. López Armengol, 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley, New York, N.V., 530 pp.

Davis, J.C. 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. Yohn Wiley, New York. NV., 530 pp.

Folk, R.L. and W.C. Ward, 1971. Mathematical treatment of size distribution data. In: Carver, R. (Ed.). Procedures in sedimentary petrology. Wiley-Interscience. N.Y., 109-127.

Hotelling, H., 1933. Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. J. of Educational Psychology, 24; 417-441, 498-520.

Hotelling, H., 1936. Simplified Calculation of Principal Components, Psychometrika, 1: 1-33.

Imbellone, A.P. y M.C. Camilión, 1984. Aplicación de diferentes criterios para identificar discontinuidades litológicas. Partido de Carlos Tejedor, provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo 2: 149-158.

Langohr, R., Scoppa, C.O. and A. van Wambeke, 1976. "The Use of Comparative Particle Size Distribution Index for the Numerical Classification of Soil Parent Materials: Application to Mollisols of the Argentinian Pampa". Geoderma 15: 305-312.

Morrás, H.J., 1983. Evaluación de algunos métodos de identificación de discontinuidades litológicas. Su aplicación en suelos del Norte de la provincia de Santa Fe (Argentina). Res. de trabajos y comunicaciones X Congr. Arg. y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.

Osterrieth, M., 1979. Mineralogía de los principales grandes grupos del partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires. Informe inédito CIC, 186 pp.

Rohlf, F., 1988. NTSYS-pc. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Version 1,40. Department of Ecology and Evolution. State University of New York. Stony Brook. N.Y. 11794.

Scoppa, C.O. y M.S. Pazos, 1981. Caracterización integral y análisis pedogenético de molisoles del borde Sur de la Pampa deprimida. R.I.A., INTA, Buenos Aires. XVI: 43-92.

Soil Survey Staff, 1975. "Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for making and interpreting Soil Surveys. Handbook, 436.