

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS NATURALES

SUELOS - PUBLICACION Nº 133

TAXONOMIA NUMERICA
SU APLICACION EN CORRELACION DE SUELOS

por

Pedro H. Etchevehere, Elsa E. Muro y Jorge E. Olmos

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

ISRIC LIBRARY

RICA ARGENTINA
ENOS AIRES
1972

AR 1972.02

Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Buenos Aires, Rep. Argentina
Serie 3, Clima y Suelo, Vol. VIII, Nº 1, 1971



Taxonomía numérica Su aplicación en correlación de suelos

PEDRO H. ETCHEVEHERE, ELSA E. MURO y JORGE E. OLMO¹

RESUMEN

Con el objeto de desarrollar un sistema objetivo de correlación de suelos, se prueba un método de Taxonomía numérica aplicada a suelos. Se siguió el método de HOLE e HIRONAKA (1960) para establecer índices de similitud entre 72 perfiles correspondientes a 24 series de suelos de un sector del área maicera de la región pampeana. Se utilizaron 79 caracteres habiéndoseles dado a todos el mismo peso sin ninguna selección previa. Con el objeto de señalar las posibilidades de este método y comparar posteriormente sus resultados con otros métodos más complejos, se construyó un fenograma parcial con 32 perfiles seleccionados a partir de la matriz de similitud. El análisis de conjuntos ("cluster analysis") fue realizado siguiendo el método ponderado de agrupamiento por pares (Weighted pair group method - WPGM). Se concluye la ventaja de los métodos numéricos para el control de la correlación durante los trabajos de reconocimiento de suelos en la Argentina. Los autores seguirán investigando en esta línea mediante el uso de computadoras y con fórmulas estadísticas más desarrolladas.

SUMMARY

Numerical taxonomy. The application for soil correlation purposes

A numerical taxonomy analysis has been tested to develop an objective systematic soil correlation in Argentina. The method developed by HOLE and HIRONAKA (1960) has been followed in order to establish similarity indexes of 72 different soils, which belong to 24 soil series within the Pampean Region. Seventy nine different data have been used without previous selection of characteristics, giving to each of these the same weight.

A partial phenogram has been made using 32 profiles, selected from the similarity indexes matrix to determine the application of this method and

¹ Dr. en Ciencias Naturales, Correlator de suelos de la Región Pampeana, Licenciada en Geografía y Agrónomo respectivamente. Técnicos del Centro de Investigaciones de Recursos Naturales del INTA, Chile 460, Buenos Aires, República Argentina.

Ingresó para su publicación el 26-I-71.

15n = 3156

to compare the results with other more complex ones. A cluster analysis was made following the weighted pair group method (WPGM). This study will be continued with the help of a desk computer and more complex statistical formulae.

Introducción

Durante los últimos quince años han sido publicados numerosos trabajos referidos a Taxonomía que en cierto modo revén algunos de los principios en que se basan los sistemas de clasificaciones biológicas vigentes. La divulgación de las calculadoras electrónicas ha permitido incorporar métodos basados en fórmulas numéricas para la clasificación de los seres vivos; tales métodos, llamados indistintamente en la bibliografía *Taxonomía numérica*, *Taxonomía estadística*, *Clasificación numérica o por computadoras*, *Taxonomía analítica* o *Análisis numérico*, en su mayor parte han sido expuestos y discutidos en la obra básica de esta nueva disciplina, por R. SOKAL y P. SNEATH (³²). Los fundamentos de la Taxonomía estadística responden a los principios adansonianos que, en líneas generales, fueron expuestos por los citados autores como verdaderos axiomas:

- 1) Una taxonomía ideal es aquella cuyos taxones están basados en la mayor cantidad de caracteres como sea posible obtener.
- 2) En un taxón todos los caracteres deben ser considerados como de igual peso.
- 3) La afinidad o similitud entre dos unidades taxonómicas es función de la semejanza en un número grande de caracteres utilizados para la comparación.
- 4) De acuerdo a las diversas correlaciones posibles entre caracteres, se pueden obtener taxones diferentes.
- 5) Así concebida, la taxonomía es una ciencia estrictamente empírica.
- 6) La afinidad o similitud debe ser estimada independientemente de toda consideración de orden genético o filogenético.

Aplicación de fórmulas estadísticas a la taxonomía de los suelos

La aplicación de estos métodos a la clasificación de los suelos se comenzó a ensayar en los Estados Unidos hacia 1959 por F. HOLE y M. HIRONAKA (¹⁰) en la División de Reconocimiento de Suelos de la Universidad de Wisconsin. Posteriormente se ensayaron fórmulas más desarrolladas en el Departamento de Agronomía de la Universidad del Estado, en Manhattan, Kansas, especialmente durante los últimos cinco años, trabajos conducidos

por el profesor O. W. BIDWELL (^{4, 8}). Deben citarse entre otros centros y técnicos que investigan en esta línea, al Departamento de Suelos de la Estación Experimental Agrícola de Minnesota (⁹); R. J. ARKLEY (²), en la Universidad de Berkeley, California; a la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Purdue; a H. A. SCHREIBER (²⁵) en la Estación Experimental Agrícola de Arizona; a L. P. WILDING, G. M. SCHAFER, R. B. JONES y otros, en el Departamento de Recursos Naturales y en la Estación Experimental Agrícola de Ohio. Fuera de los Estados Unidos trabajan B. W. AVERY, J. H. RAYNER, J. W. MUIR y colaboradores, en la Estación Experimental de Rothamsted y en el Instituto de Suelos Macauley, Aberdeen, Gran Bretaña (^{3, 18, 21}); J. M. NORRIS y colaboradores (^{13, 14, 19}) en el C.S.I.R.O., en Canberra; J. S. RUSSELL, A. W. MOORE y otros (^{15, 16, 22, 23}) en las Divisiones de Suelos y de Pasturas Tropicales en Queensland, Australia; M. K. JOHN, L. M. LAVKULICH, y colaboradores (¹¹) en la Universidad de British Columbia en Vancouver y en el Departamento de Agricultura de la Columbia Británica en Kelowna; R. PROTZ y E. W. PRESANT (²⁰) en la Universidad de Guelph en Ontario, Canadá; R. VAN DEN DRIESSCHE y R. MAIGNEN (^{33, 34}) en los Servicios Científicos de Bondy, Francia; también en la Unión Soviética investigan V. V. KUZNETSOV y V. R. VOLOBOUEV (^{12, 35}), entre los más difundidos a través de la bibliografía. Estos métodos ya se enseñan en diversos cursos en muchos centros de estudios de suelos.

La mayoría de los trabajos publicados tienen por objetivo ensayar diversas fórmulas estadísticas destinadas a comparar grandes grupos de suelos de una región o de distintas regiones del mundo, tratando de establecer las limitaciones y aplicabilidad de estos métodos. Otras publicaciones se refieren al procesamiento de datos de suelos. En 1970 se dio a luz el primer trabajo comparativo entre series de suelos de un país (¹⁸). En la aún escasa bibliografía existente, no hemos observado que los métodos numéricos se hayan usado para correlación de suelos.

En la Unidad de Reconocimiento de suelos del Centro de Investigación de los Recursos Naturales del INTA —Oficina de Correlación de suelos, a nuestro cargo— estamos probando las fórmulas más adecuadas para aplicarlas a los controles de correlación y de clasificación de suelos, buscando el método más eficaz y objetivo. La presente contribución es la primera de una serie que proyectamos publicar y en la cual presentamos los resultados conseguidos con el método más sencillo de los existentes, referido a la comparación entre perfiles de un área ya mapeada de la pampa ondulada. Para el método expuesto en este trabajo, que sólo requiere un largo y cuidadoso trabajo de cómputos, se puede utilizar una simple calculadora

manual. La posibilidad de utilizar en el futuro computadoras de mesa de mayor capacidad nos permitirá ensayar fórmulas estadísticas más desarrolladas y seguramente obtendremos así mejores resultados.

Los métodos de taxonomía numérica se basan en el análisis estadístico de los caracteres o rasgos que definen a los suelos. Estos rasgos se manejan como datos numéricos que pueden ser tabulados para su análisis estadístico, según tres formas de valores (9, 21):

- a) *Dicotomías*: Son los datos que sólo pueden ser tabulados en dos formas: "presente o no presente". Cuando se trabaja con coeficientes de asociación, todos los datos deben ser transformados en dicotomías y tabulados como 1 ó 0 respectivamente.
- b) *Alternativas*: Son los datos escalados artificialmente como intervalos de clase por el que proyecta el estudio. En este caso los valores originales se transforman por lo común en progresiones 0-2-4-6-8 o 1-2-4-8-16.
- c) *Escalas directas*: Son los datos tabulados con sus valores originales, como pueden ser: los centímetros de espesor de un horizonte, los porcentajes de sodio, las clases de drenaje. Cualquiera de ellos puede ser transformado en una alternativa o en una dicotomía si fuera conveniente.

A partir de estos valores y mediante la aplicación de fórmulas estadísticas se obtienen "índices de similitud" con los cuales se construyen "fenogramas" o "dendrogramas" que se pueden interpretar como esquemas taxonómicos, para establecer niveles de categorías que podríamos llamar "líneas o niveles fenónicos" (en inglés "phenon lines").

Los índices de similitud, generalmente referidos a porcentajes —o sea que 100 % de similitud significaría "total identidad"— son coeficientes obtenidos a partir de algunas de las fórmulas que se han ensayado para tal fin. Entre otros, se han usado como índices de similitud: la fórmula de HOLE e HIRONAKA; los coeficientes de correlación, como el coeficiente " r " del momento-producto; el coeficiente de distancia taxonómica " d " (29); cualquiera de los coeficientes de asociación, como el de SOKAL y MICHENER (30), etc.

El análisis de los datos y la construcción del fenograma también permite la utilización de una gran variedad de métodos; el uso de uno u otro parece haber dependido más de la preferencia del estadístico o matemático integrante del equipo de investigación que de la aptitud del método en sí. Respecto de los índices basados en la "distancia taxonómica", ellos per-

miten además construir modelos tridimensionales o proyecciones ortográficas, para visualizar las relaciones espaciales entre los taxones que se comparan. El lector interesado en profundizar sobre estos métodos, puede consultar el libro de SOKAL y SNEATH o los trabajos aparecidos más recientemente en revistas especializadas, de los cuales una selección se presenta en la lista bibliográfica.

Método de trabajo

En este primer ensayo hemos utilizado el método de HOLE e HIRONAKA (10). Los datos de los perfiles que se compararon fueron tabulados en una planilla tomándolos de las descripciones de campo y de los análisis de laboratorio.

Para poder trabajar estadísticamente con todos estos datos, fue necesario "estandarizarlos" o "normalizarlos". De manera que la planilla original se transformó en otra planilla normalizada. La transformación se realiza del siguiente modo:

- 1º) Se busca en la planilla original el valor más alto de un carácter y a él se le adjudica el valor 100 en la planilla normalizada.
- 2º) Se busca en la planilla original el valor más bajo de ese mismo carácter, el que se estandariza como 0 en la planilla normalizada.
- 3º) Los valores intermedios se calculan proporcionalmente respecto del más alto y del más bajo, tabulándoselos así en la planilla normalizada. La proporción se encuentra fácilmente aplicando esta fórmula:

$$v = \frac{v_o - m}{M - m} \quad (1)$$

donde v es el valor estandarizado que se busca.

v_o es el valor según la planilla original.

M es el valor más alto encontrado en la planilla original para ese rasgo.

m es el valor más bajo encontrado en la planilla original para ese rasgo.

Una vez preparada la planilla con los valores estandarizados para todos los rasgos, se calculan los índices de similitud I que, en el método de HOLE e HIRONAKA aquí descripto, se obtienen mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{2 \sum w}{\sum A + \sum B} \times 100 \quad (2)$$

El índice de similitud es un coeficiente de comparación, resultante del enfrentamiento de un perfil con otro. Para calcularlo, cada perfil debe ser enfrentado a cada uno de los restantes, obteniéndose así una tabla matriz con todos los índices. El cómputo más difícil es el del valor w de la fórmula (2) que se obtiene tomando en cuenta para cada rasgo el valor más bajo de cada par enfrentado. Un ejemplo aclarará mejor este paso:

Perfiles	R a s g o s				ΣA ΣB
	1	2	3	4	
a	25	75	75	40	215
b	0	100	100	40	240
c	100	16	75	100	291
d	0	0	100	100	200
e	0	91	0	0	91

Cuando se está calculando el índice de similitud entre los perfiles a y b se anotan los siguientes valores mínimos:

$$\Sigma w(a, b) = 0 + 75 + 75 + 40 = 190$$

Cuando se compara a con c se anotará:

$$\Sigma w(a, c) = 25 + 16 + 75 + 40 = 156$$

Del mismo modo, para c frente a d será:

$$\Sigma w(c, d) = 0 + 0 + 75 + 100 = 175$$

c frente a e :

$$\Sigma w(c, e) = 0 + 16 + 0 + 0 = 16. \text{ Y así con todos los pares posibles.}$$

Las sumas respectivas multiplicadas por 2 darán el numerador de la fórmula. A su vez, las sumas directas de todos los valores normalizados de cada perfil darán los valores ΣA y ΣB . Para obtener el denominador de la fórmula bastará sumar los valores directos de los dos perfiles que se comparan. En el ejemplo anterior, para obtener el denominador cuando comparamos a con b se anotará: $215 + 240$. El denominador para a frente a c será: $215 + 291$. Del mismo modo cuando se enfrenta c con

$d: 291 + 200$. Y cuando se enfrentan c con $e: 291 + 91$. Así se procede con todos los pares posibles.

$$\text{Sea calcular I entre } a \text{ y } b: \quad \frac{2 \times 190}{215 + 240} \times 100 = 83,5$$

$$\text{Del mismo modo el I entre } a \text{ y } c: \quad \frac{2 \times 156}{215 + 291} \times 100 = 61,6$$

Esto ya puede interpretarse como que a es “mucho más parecido” a b que a c porque tiene un índice de similitud frente a b apreciablemente más alto que frente a c .

Obtenida la matriz con todos los índices de similitud, se construye el fenograma siguiendo alguno de los cuatro métodos de agrupamiento que se conocen:

- método ponderado de agrupamiento por pares
- método no ponderado de agrupamiento por pares
- método ponderado de agrupamientos variables
- método no ponderado de agrupamientos variables.

El agrupamiento se realiza de dos formas: no permitiendo que en cada ciclo ingresen más de dos perfiles, o admitiendo que ingresen más de dos de ellos por ciclo de agrupamiento. Estos métodos de análisis para diseñar los fenogramas exigen recalcular los índices de similitud en cada ciclo. El elegido por nosotros, que es el método ponderado de agrupamiento por pares, posibilita recalcular los coeficientes mediante simples medias aritméticas entre los índices de la matriz inmediatamente anterior. Una vez ingresados todos los perfiles en el fenograma, se puede interpretar el mismo desde un punto de vista taxonómico.

Nuestro primer ensayo con este método consistió en la comparación de 72 perfiles de suelos descriptos, muestreados y clasificados, de 8 hojas contiguas de la Carta de Suelos de la Región Pampeana levantadas a escala 1:50.000, a saber: hojas 3360-31-1 “Hughes”; 3360-31-2 “Wheelwright”; 3360-32-1 “Estancia Las Gamas”; 3360-32-2 “Manuel Ocampo”; 3360-31-3 “Merceditas”; 3360-31-4 “Colón”; 3360-32-3 “Mariano H. Alfonzo”; 3360-32-4 “Pergamino”. Cubren en conjunto una superficie de 3.400 km² al oeste de la pampa ondulada abarcando parcialmente los partidos de Pergamino, Colón y Rojas en la provincia de Buenos Aires y los departamentos de General López y Constitución en la provincia de Santa Fe. La ubicación geográfica puede verse en la figura 1.

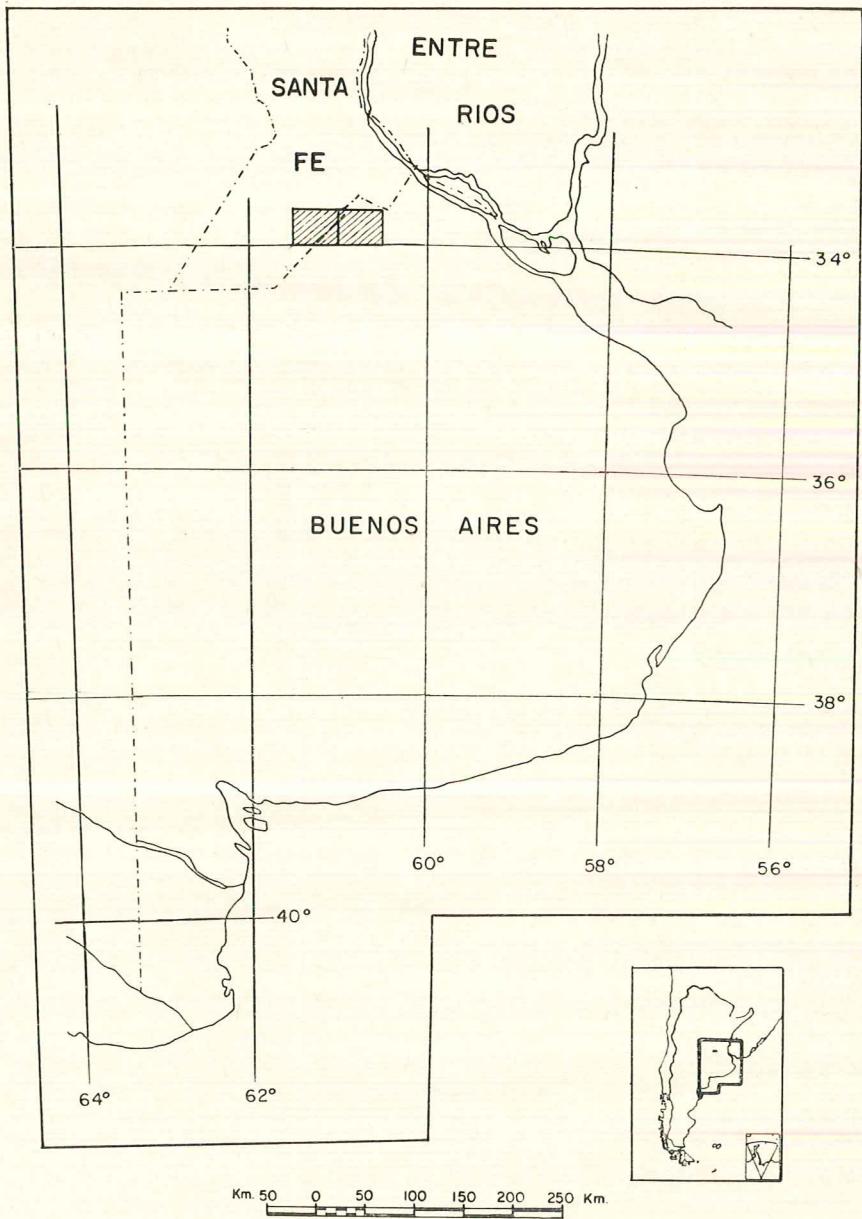


Fig. 1. — Situación geográfica del área que comprende el trabajo

TABLA 1

Lista de caracteres utilizados en la comparación

- 1 Grado de desarrollo del perfil (A)
- 2 Ponderación de los horizontes principales (A)
- 3 Número de subhorizontes en el B2 (A)
- 4 Presencia de discontinuidades litológicas (A)
- 5 Número de capas litológicas (E)
- 6 Espesor del horizonte A1 (E)
- 7 Tipo de horizonte transicional entre A y B (A)
- 8 Espesor del B2t (E)
- 9 Espesor del A/ espesor del B2 (E)
- 10 Espesor total del solum (E)
- 11 Profundidad total del perfil (E)
- 12 Hue del horizonte A1 (A)
- 13 Value del A2 (A)
- 14 Hue del B2 (A)
- 15 Hue del B2/ hue del A1 (A)
- 16 Textura del A1 (A)
- 17 Textura del B2t (A)
- 18 Textura del C (A)
- 19 Presencia de 30 % o más de arcilla en el perfil hasta 100 cm (A)
- 20 Porciento de limo (2-50 μ) en el C (E)
- 21 Porciento de limo (2-50 μ) / porciento de limo (2-20 μ) en el C (E)
- 22 Porciento de arenas totales (50-2000 μ) en el C (E)
- 23 Presencia de arenas media y gruesa en el C (A)
- 24 Fragmentos gruesos en el C (E)
- 25 Porciento de arcilla en el A1 (E)
- 26 Porciento de arcilla en el B2 (E)
- 27 Porciento de arcilla en el B2 / porciento de arcilla en el A1 (A)
- 28 Cambio textural abrupto entre A y B (D)
- 29 Porciento de arcilla en el B2 / porciento de arcilla en el C (E)
- 30 Barnices en el B2 (A)
- 31 Cromas de los barnices del B2 (A)
- 32 Slickensides (A)
- 33 Estructura del A1 (A)
- 34 Estructura del B2 (A)
- 35 Grietas de 1 cm en el perfil (D)
- 36 Consistencia del epipedón (A)
- 37 Consistencia del B2 (A)
- 38 Presencia de epipedón mólico u óérico (A)
- 39 Espesor del horizonte álbico (A)

TABLA 1 (cont.)

- 40 Presencia de horizonte argílico (D)
- 41 Presencia de horizonte cámbico (D)
- 42 Presencia de horizonte nátrico (D)
- 43 Clase de alcalinidad sólica (A)
- 44 Horizonte petrocálcico (A)
- 45 Profundidad de los carbonatos libres (A)
- 46 Clase de salinidad (A)
- 47 Durinódulos (A)
- 48 Duripán (A)
- 49 Fragipán (A)
- 50 Profundidad de los moteados (E)
- 51 Intensidad de los moteados (A)
- 52 Concreciones de hierro-manganoso (A)
- 53 Límite inferior del horizonte A (A)
- 54 Porcentaje de carbono a 15 cm / porcentaje de carbono a 30 cm (E)
- 55 Porcentaje de carbono en los 30 cm superiores (E)
- 56 Porcentaje de carbono / porcentaje de arcilla del A1 (E)
- 57 Suma de los porcentajes de carbono × Espesor de cada horizonte hasta 100 cm (E)
- 58 Porcentaje de carbono / porcentaje de nitrógeno en el A1 (E)
- 59 pH del A1 (E)
- 60 pH del B2 (E)
- 61 pH del C (E)
- 62 pH del B2 / pH del A1 (E)
- 63 pH del C / pH del B2 (E)
- 64 Capacidad total de intercambio en el A1 (E)
- 65 Capacidad total de intercambio en el B2 (E)
- 66 Capacidad total de intercambio en el B2 / ídem en el A1 (E)
- 67 Saturación con bases en el A1 (E)
- 68 Saturación con bases en el B2 (E)
- 69 Relación Ca++ / Mg++ en el A1 (E)
- 70 Relación Ca++ / Mg++ en el B2 (E)
- 71 H+ intercambiable en el A1 (E)
- 72 H+ intercambiable en el B2 (E)
- 73 Relación Ca++ + H+ / Mg++ + Na+ en el B2 (E)
- 74 Profundidad de alto tenor de Na+ intercambiable (15 %) (A)
- 75 Posición topográfica (A)
- 76 Gradiente en porcentaje (pendiente) (A)
- 77 Profundidad de la capa freática (A)
- 78 Clase de drenaje (E)
- 79 Permeabilidad estimada (A)

En la comparación hemos utilizado 79 rasgos correspondientes a datos morfológicos, físicos, químicos y topográficos o de paisaje. En la tabla 1 se da la nómina de los mismos. No contamos con determinaciones mineralógicas de arcilla; en cuanto a los datos mineralógicos de las fracciones arenas, los mismos no fueron tenidos en cuenta en esta ocasión porque no contábamos con ellos en todos los casos o no acusaban diferencias significativas. Una de las exigencias de este método es evitar el uso de datos cuyos valores sean iguales en todos los perfiles comparados, o que falten para algunos de ellos. Algunos valores fueron obtenidos como relaciones aritméticas; incorporamos además aquellos caracteres que el sistema americano de clasificación utiliza para separar suelos en los niveles más altos (órdenes, subórdenes, grandes grupos y subgrupos de la 7^a Aproximación) y hemos agregado todos los rasgos que usamos normalmente para diferenciar series en nuestros trabajos de correlación en la región pampeana ondulada.

Todos los datos provienen de las descripciones de campo de los equipos de reconocedores del plan de levantamiento de la Carta de Suelos de la Región Pampeana y de los análisis realizados en los laboratorios del ex-Instituto de Suelos y Agrotecnia del INTA y de la Dirección General de Suelos y Química Agrícola de Santa Fe. Las descripciones de campo siguen las normas del texto usado por nuestros técnicos (¹), basadas en el Soil Survey Manual de los Estados Unidos (²⁷) y los métodos analíticos son los recomendados por la 7^a Aproximación (²⁸). Los cálculos requeridos por el método se obtuvieron con una máquina de calcular Olivetti, modelo Divisumma 26. El trabajo exigió la tabulación de 5.688 valores normalizados y el cálculo de 2.592 índices de similitud.

En este trabajo no fueron considerados unos 25 caracteres más, porque tenían el mismo valor en todos los perfiles comparados, como es el caso de los datos climáticos, temperaturas del suelo, colores del material originario, etc., o porque se carecía del dato en algunos perfiles. Las letras entre paréntesis indican la forma como fue considerado el rasgo: (D): dicotomía; (A): alternativa; (E): escala directa.

Resultados y discusión

Del análisis de los 72 perfiles comparados por nosotros resultó un fenograma demasiado grande y complicado para ser interpretado y discutido en estas páginas. Al solo efecto de realizar la discusión del método de HOLE e HIRONAKA y poder comparar posteriormente sus resultados con los que logremos con métodos estadísticamente más rigurosos, hemos

elegido un grupo de perfiles seleccionados entre los 72, debiéndose aclarar que el agrupamiento parcial difiere lógicamente del que se obtendría con el fenograma total.

Los elegidos fueron 32 perfiles de suelos correspondientes a sitios muestreados en las hojas 3360-31 más cuatro perfiles de las hojas 3360-32. En la tabla 2 damos la nómina de los 32 perfiles elegidos y los nombres de las series y subgrupos tal como estaban clasificados de antemano. Para diseñar el fenograma fue necesario construir 14 matrices sucesivas hasta que el último perfil entró en el diseño. Del análisis de este fenograma surgen las siguientes consideraciones (ver figura 2):

Los perfiles de las series clasificadas como *Argiudoles típicos* aparecen correctamente agrupados, si bien se observa que un perfil de la serie Hughes (Nº 834) y uno de la serie Rojas (Nº 54) son intrusos en los grupos formados por Rojas y Hughes respectivamente. La semejanza entre estas dos series puede ser un problema de correlación con los métodos convencionales. En el fenograma es significativo que los restantes perfiles de Rojas y Hughes no aparezcan mezclados, sino formando conjuntos separados, lo que confirma la individualidad de estas series a pesar de las excepciones ya citadas. El perfil 148 corresponde al extremo más pesado de la serie Hughes y por eso aparece algo aislado del resto.

Llama la atención también que el perfil 34 adjudicado a la serie Juncal se unió en el primer ciclo a un nivel fenónico demasiado alto (95,6) con el perfil 43 de la serie Hughes. Juncal, a diferencia de Hughes, es un suelo moderadamente bien drenado, con una capa freática que puede afectar la base del perfil en años lluviosos. A priori aparentaba ser morfológicamente más parecido a la serie Pergamino, pero debe advertirse que el perfil 34 se halla ubicado en una área transicional entre las otras dos series y además siempre debemos tener en cuenta que el fraccionamiento realizado para el análisis de grupos pudo modificar sensiblemente el fenograma.

Los Argiudoles no típicos quedaron bien separados: *Argiudol háplico* (Nº 24 y 835 de la serie Venado Tuerto), *Argiudol vértico* (Nº 152 de la serie Labordeboy) y *Argiudol ácuico* (Nº 40 de la serie El Arbolito). Labordeboy y El Arbolito muestran ser más afines a los *Argiudoles típicos* que Venado Tuerto. Efectivamente, esta última serie presenta un horizonte argílico incipiente, con una relación entre el porciento de arcilla del horizonte B2 y el porciento de arcilla del horizonte A1 de alrededor de 1,2 es decir, en el límite de argílico, siendo por lo tanto un integrado a un verdadero *Hapludol*. Esta serie sólo se unió a los *Argiudoles* en el nivel 69,4.

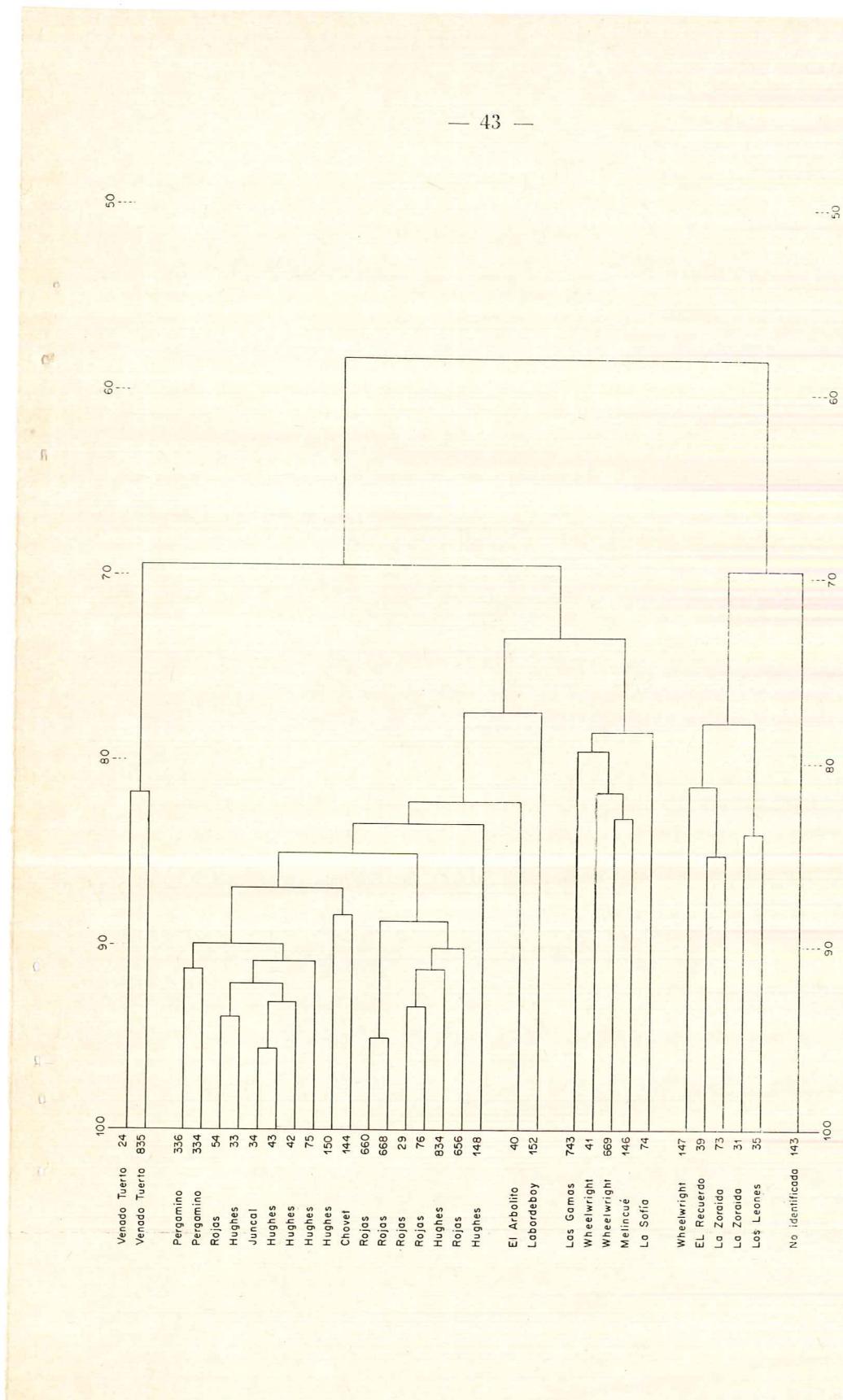


Fig. 2. — Fenograma parcial construido con los 32 perfiles seleccionados

TABLA 2

Lista de los 32 perfiles utilizados para construir el fenograma de la figura 2

Perfiles	Serie	Subgrupo
144	Chovet	Argiudol típico
40	El Arbolito	Argiudol ácuico
39	El Recuerdo	Natralbol típico
33-42-43-75-148-150 y 834	Hughes	Argiudol típico
34	Juncal	Argiudol típico
152	Labordeboy	Argiudol vértico
74	La Sofía	Argialbol argiácuico
31 y 73	La Zoraida	Natracualf mólico
743	Las Gamas	Argialbol aérico
35	Los Leones	Natracualf mólico
146	Melincué	Argialbol aérico
334 y 336	Pergamino	Argiudol típico
29-54-76-656-660 y 668	Rojas	Argiudol típico
24 y 835	Venado Tuerto	Argiudol háplico *
41-147 y 669	Wheelwright	Natralbol típico
143	s/n	Natracualf típico

* Denominamos así, como un tentativo nuevo subgrupo, a los Argiudeles con incipiente horizonte argílico, intergrados a Hapludoles típicos.

Los *Argialboles* quedaron formando un grupo aparte (perfiles N° 743, 146 y 74) y precisamente el perfil 74 de la serie La Sofía, que es un *Argialbol argiácuico*, ingresó al diagrama sólo después que se unieron entre sí los *Argialboles aéricos* (series Las Gamas y Melincué). Se observan sin embargo, junto a ellos, dos perfiles de la serie Wheelwright (*Natralbol típico*) cuya interpretación merece un párrafo aparte.

Las series sódicas se manifestaron correctamente "alejadas" del resto. Sin embargo los perfiles 41 y 669 de la serie Wheelwright, aparecen agrupados con las series Melincué y Las Gamas, que son Argialboles con casos tenores de sodio en profundidad. Esto se explica debido a que el criterio usado por nuestra oficina para establecer series con más del 15 % de sodio de intercambio, permite incluir dentro de la misma serie pedones que cumplan esa condición desde los 50 cm de profundidad hasta 125 cm. En el presente ensayo, en cambio, dimos distintos intervalos de clase para separar los perfiles con sodio entre 50 y 90 cm de los que lo tienen debajo de los 90 cm. El perfil 147 lo presenta relativamente alto, a 60 cm y por

eso quedó correctamente cerca de las series sódicas, mientras que los perfiles 41 y 669 que tienen sodio a 1 m se agruparon con los *Argialboles* ligeramente sódicos ya citados.

Como se puede observar, los perfiles de la serie La Zoraida que es un *Natracualf mólico*, aparecen separados entre sí; uno de ellos formó un “cluster” con un perfil con epipedón mólico (el N° 39 de la serie El Recuerdo) y el otro se agrupó con otro *Natracualf* (N° 35, serie Los Leones). Esto puede interpretarse como que la ausencia de epipedón mólico no pesó suficientemente en el análisis, hecha nuevamente la salvedad de que el diagrama hubiera sido distinto si se hubiera empleado la totalidad de los perfiles para construir el fenograma.

Un perfil sódico sin identificar, que forma parte de un complejo alcalino (N° 143) sólo se incorporó al resto de los suelos sódicos en el nivel 69,7. Finalmente los 32 perfiles quedaron formando un único conjunto en el nivel 58,2.

Uno de los problemas que ha suscitado más discusiones en el uso de estos métodos estriba en si es conveniente dar mayor peso a unos caracteres que a otros durante el análisis. Otro asunto en discusión es si conviene reducir el número de caracteres por usarse. En la bibliografía se ha recomendado eliminar aquellos rasgos que sean altamente correlativos, prefiriendo sólo aquellos que se comporten como variables independientes (²⁴). En este trabajo hemos incorporado el mayor número de caracteres que nos fue posible obtener, aun cuando ello alargó la tarea, porque de ese modo evitamos dar más peso a un carácter que a otro. Las similitudes entre perfiles son tanto más reales cuanto mayor es el número de rasgos que se usan en la comparación, sin necesidad de multiplicar la importancia de un rasgo sobre otro. Respecto de estas cuestiones debemos hacer nuestra propia experiencia con los suelos de la región, para poder adoptar posteriormente la alternativa que nos resulte más indicada.

Conclusiones

1^a Si bien estamos en la etapa inicial de ensayos con estos métodos numéricos, podemos confirmar la factibilidad de su uso para realizar la correlación de suelos.

2^a El uso de computadora nos permitirá usar fórmulas estadísticas más complejas que darán resultados sin duda mejores por cuanto posibilita trabajar con numerosos perfiles y rasgos simultáneamente.

3^a El método permite visualizar relaciones entre series y sacar conclusiones acerca de sus vinculaciones. Posibles errores de correlación podrían

ser subsanados realizando el análisis estadístico antes de los ajustes finales de las unidades taxonómicas creadas durante el levantamiento.

4^a Debemos adquirir experiencia en cuanto a la elección de caracteres. Hasta el momento no nos parece conveniente reducir a menos de 70 los rasgos que se deben usar. La interdependencia entre unos caracteres y otros no parece suficientemente probada como para eliminar aquellos que se muestran estadísticamente correlativos.

5^a Mientras tengamos resultados aceptables pensamos que no es conveniente transgredir el principio de la igualdad en la ponderación de los caracteres. Mayor experiencia con suelos de la región nos indicará el camino a seguir en el futuro en esta controvertida cuestión.

6^a Los métodos han sido probados suficientemente en la comparación de grandes grupos. Nosotros los aplicaremos tanto para comparar series partiendo de los rasgos que tipifican los conceptos centrales, como sobre perfiles, para control de correlación.

7^a Tendiendo hacia la objetividad en la creación de unidades taxonómicas, la difusión de estos métodos es altamente conveniente en los proyectos de cartografía y clasificación de suelos de nuestro país. Además la correlación a nivel nacional puede ser realizada con mayor certeza.

Lista bibliográfica

1. ARENS, P. L. y P. H. ETCHEVEHERE. 1966. *Normas de Reconocimiento de Suelos*; con suplementos de mayo 1967 y noviembre 1969. — INTA. Instituto de Suelos y Agrotecnia. Buenos Aires.
2. ARKLEY, R. J. 1968. *Statistical methods in soil classification*. — Transact. 9th Int. Congr. Soil Sci. IV: 187-192.
3. AVERY, B. W. 1968. *General Soil Classifications: Hierarchical and Co-ordinate systems*. — Transact. 9th Int. Congr. Soil Sci. IV: 169-175.
4. BIDWELL, O. W. y F. D. HOLE. 1964. *An Experiment in the Numerical Classification of Some Kansas Soils*. — Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings 28-2: 263-269.
5. BIDWELL, O. W.; L. F. MARCUS y P. K. SARKAR. 1964. *Numerical Classification of soils by Electronic Computer*. — Transact. 8th Int. Congr. Soil Sci V: 933.
6. BIDWELL, O. W. y F. D. HOLE. 1963. *Numerical taxonomy and soil classification*. — Soil Sci. 97-1: 58-62.
7. CIPRA, J.; O. W. BIDWELL y F. J. ROHLF. 1970. *Numerical taxonomy of Soils from nine orders by cluster and centroid - component analyses*. — Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings 34: 281-287.
8. CIPRA, J.; B. UNGER y O. W. BIDWELL. 1969. *A Computer program to "Key-out" world soil orders*. — Soil Sci. 108-3: 153-159.

9. GRIGAL, D. F. y H. F. ARNEMAN. 1969. *Numerical classification of some forested Minnesota soils.* — Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings 33: 433-438.
10. HOLE, F. D. y M. HIRONAKA. 1960. *An experiment in ordination of some soil profiles.* — Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings 24:4: 309-312.
11. JOHN, M. K.; L. M. LAVKULICH; J. R. JUNGEN y J. L. LEIGH. 1969. *Interpretation of soil data by computer.* — Canadian Journal of Soil Sci. 49: 177-179.
12. KUZNETSOV, V. V. 1966. *Collection and Organization of material of Soil investigations on edge-punched cards.* — Soviet Soil Sci. 10: 1102-1110.
13. LANCE, G. N. y W. T. WILLIAMS. 1966. *Computer programs for hierarchical polythetic classification ("similarity analyses").* — Australian Comp. Journal 9: 60-64.
14. LANCE, G. N. y W. T. WILLIAMS. 1967. *Note on the classification of multi-level data.* — Australian Comp. Journal 9: 381-382.
15. MOORE, A. W. y J. S. RUSSELL. 1966. *Potential use of numerical analysis and Adansonian concepts in soil science.* — Australian Journal of Science 29: 141-143.
16. MOORE A. W. y J. S. RUSSELL. 1967. *Comparison of coefficients and grouping procedures in numerical analysis of soil trace element data.* — Geoderma 1: 139-158.
17. MUIR, J. W. y H. C. HARDIE. 1962. *A punched - card system for soil profiles.* — Journal of Soil Sci. 13-2: 249-253.
18. MUIR, J. W.; H. G. M. HARDIE; R. H. E. INKSON y A. J. B. ANDERSON. 1970. *The Classification of soil profiles by traditional and numerical methods.* — Geoderma 4: 81-90.
19. NORRIS, J. M. 1970. *Multivariate methods in the study of soils.* — Soils and Fertilizers 33:4: 313-318.
20. PROTZ, R.; R. W. ARNOLD y E. W. PRESANT. 1968. *The approximation of the true modal profile with the use of the high speed computer and landscape control.* — Transact. 9th Int. Congr. Soil Sci. IV: 193-204.
21. RAYNER, J. R. 1966. *Classification of soils by numerical methods.* — Journal of Soil Sci. 17: 79-92.
22. RUSSELL, J. S. y A. W. MOORE. 1967. *Use of a numerical method in determining affinities between some deep sandy soils.* — Geoderma 1: 47-68.
23. RUSSELL, J. S. y A. W. MOORE. 1968. *Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil data.* — Transact. 9th Int. Congr. Soil Sci. IV: 205-213.
24. SARKAR, P. K.; O. W. BIDWELL y L. F. MARCUS. 1966. *Selection of Characteristics for Numerical classification of Soils.* — Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings 30:2: 269-272.
25. SCHREIBER, H. A. 1967. *Digital computer program for particle-size distribution and textural classification of soils.* — Soil Sci. 104: 225-226.
26. SNEATH, P. H. A. y R. R. SOKAL. 1962. *Numerical Taxonomy.* — Nature 193: 855-860.
27. Soil Survey Staff. 1951. *Soil Survey Manual.* Handbook 18. USDA. Washington, D. C.; con suplemento de mayo de 1962 (existe traducción castellana de

- la edición 1951 por J. B. Castillo, Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas).
- 28. Soil Survey Staff. 1960. *Soil classification. A Comprehensive system, 7th Approximation*. Soil Cons. Service; USDA. Washington, D. C.; con suplementos de junio 1964, marzo 1967, julio y setiembre 1968 (existe traducción castellana de la edición 1960 por P. H. Etchevehere, INTA, Buenos Aires).
 - 29. SOKAL, R. R. 1961. *Distance as a measure of taxonomic similarity*. — Syst. Zool. 10: 70-79.
 - 30. SOKAL, R. R. y C. D. MICHENER. 1958. *A Statistical method for evaluating systematic relationships*. — Univ. of Kansas Science Bull. 38: 1409-1438.
 - 31. SOKAL, R. R. y F. J. ROHLF. 1962. *The Comparison of dendograms by objective methods*. — Taxon 11: 33-40.
 - 32. SOKAL, R. R. y P. H. A. SNEATH. 1963. *Principles of Numerical Taxonomy*. — W. H. Freeman and Co. San Francisco; 360 p.
 - 33. VAN DEN DRIESSCHE, R. 1966. *Un problème de classification numérique*. — Cahiers de Pédologie 4: 91-96.
 - 34. VAN DEN DRIESSCHE, R. y R. MAIGNIEN. 1965. *Application d'une méthode de la statistique approfondie à la pédologie*. — Pédologie 3: 79-88.
 - 35. VOLOBOUEV, V. R. 1967. *The co-ordinate method for soil diagnosis*. — Soviet Soil Sci. 10: 30-43.
 - 36. WILLIAMS, W. T. y M. B. DALE. 1965. *Fundamental problems in numerical Taxonomy*. — Adv. Bot. Res. 2: 35-68.
 - 37. WILLIAMS, W. T. y G. N. LANCE. 1965. *Logic of Computer - based intrinsic classifications*. — Nature 207: 159-161.
 - 38. — 1967. *Application of computer classification techniques to problems in land survey*. — 36th Session Int. Stat. Inst. Paper 1-39. Sydney.