

APLICACIÓN DE ANÁLISIS MULTIVARIANTE AL ESTUDIO DE SUELOS DE ALMERÍA (ESPAÑA)

Jaime ÍÑIGUEZ, Sergio de HARO y Emilia FERNÁNDEZ-ONDOÑO

Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Severo Ochoa S/N.

Abstract: We have realized the statistical multivariant study of the properties from three hundred soils, corresponding the Almería topographic sheet, to 1:200.000 scale.

We have carried out the utilizing multiple correlation (Pearson) and factorial analysis methods.

The characters external to the soil- geographic position, altitude and pluviosity- are correlated between itself. The two first eigenvalues the justify 98% from the explained variance.

The internal charaters fo the soil are frequently correlated with those external characters. The exchangeable cations and the pH are correlated with pluviosity. The conductivity is correlated with exchangeable sodium. The C/N ratio not shows significant correlation.

The study on principal components, effected with rotation Varimax and twenty-five interactions, shows that the component first is related to the content on clay and variables that of this depend as: water retention and cations from exchange, with the exception of the sodium. The clay likes being inherited and not evolved. This axis is related to the nature from the rock.

The second axis is conditioned by the pluviosity and content on organic matter.

The third is conditioned by exchangeable sodium and conductividad.

The conduct of the calcium carbonate is neither conditioned by rock or pluviosity. Her conduct is parallel to the of the sodium, and he has influence at the values from pH.

Resumen: Se ha realizado el estudio estadístico multivariante de las propiedades de trescientos suelos, correspondientes a la hoja topográfica de Almería, a escala 1:200.000.

Hemos llevado a cabo el trabajo utilizando los métodos de correlación múltiple (Pearson) y análisis factorial de componentes principales.

Los caracteres externos al suelo -localización geográfica, altitud y pluviabilidad- están correlacionadas entre sí. Los dos primeros valores propios justifican 98% de la varianza explicada.

Los caracteres internos del suelo están con frecuencia correlacionadas con los externos. Los cationes de cambio y el pH lo están con precipitación. La conductividad con sodio cambiante. El cociente C/N no muestra correlación significativa.

El estudio en componentes principales, efectuado con rotación Varimax y veinticinco interacciones, muestra que el primer componente está relacionado con el contenido en arcilla y variables que de ésta dependen: como agua retenida y cationes de cambio, con la excepción del sodio. La arcilla parece ser heredada y no evolucionada. Este eje está relacionado con la naturaleza de la roca madre.

El segundo eje está condicionado por la pluviabilidad y contenido en materia orgánica.

El tercero, por sodio de cambio y conductividad.

La conducta del carbonato cálcico es peculiar. No está condicionado por roca madre ni pluviabilidad. Su conducta es paralela a la del sodio, e influye en los valores de pH.

Correlación múltiple y análisis factorial se complementan entre sí.

INTRODUCCIÓN.

Desde los clásicos trabajos de Jenny, en los años cuarenta, (Jenny, 1941) y aún anteriores, (Jenny, 1930), muchos autores se han enfrentado con el problema de determinar las características de los suelos en función de los factores genéticos, geología, clima, vegetación y tiempo.

Jenny abordó el problema simplificando la ecuación general, (Yaalon, 1975), suponiendo constantes el clima, la roca madre o la vegetación, para poder estudiar la influencia en el desarrollo del perfil, expresado por la evolución del contenido en carbonato cálcico, la variación del pH, el contenido en materia orgánica, etc. Ello le obligó, por ejemplo, a seleccionar suelos a lo largo de una isoyeta, manteniendo la misma roca madre, -generalmente loess-, o sobre una isoterma, permaneciendo constantes otras propiedades, como vegetación de pradera.

No es fácil disponer de datos similares a los que Jenny manejó, especialmente en países como España, sin grandes espacios en los que uno o varios de los factores genéticos permanezca constante. En zonas concretas, el problema se simplifica, y es más fácil de abordar, al reducirse el número de variables (Delgado et alia, 1994).

Las técnicas estadísticas de análisis multivariante, y la posibilidad de acceder a ordenadores cada vez más potentes, permiten abordar el problema desde otros puntos de vista, (Bekett y Webster, 1971; Corey, 1987; Webster, 1977 y 1985; Brubaker et alia, 1991).

Subsiste la necesidad de disponer de datos fiables de suelos, recogidos y analizados con un criterio constante (Stelly, 1977; Vieira et alia, 1983; Hanway, 1973). Los mapas de suelos elaborados por el proyecto Lucdeme, se extienden por amplios espacios de Andalucía, y los datos de perfiles que las memorias presentan, tomados y analizados con criterios uniformes, posibilitan comprobar la eficacia de las técnicas estadísticas disponibles para interpretar la influencia de los factores edáficos en un

area extensa. Elegimos para este trabajo los mapas correspondientes a la hoja de Almería a escala 1:200.000, ya que todos los mapas a escala 1:100.000 que la integran están realizados y publicados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Hemos partido de los datos obtenidos en el proyecto Lucdeme, correspondientes a la hoja de Almería a escala 1:200.000. Incluye las hojas 1011 (Guadix), 1012 (Fiñana), 1013 (Macael), 1014 (Vera), 1028 (Aldeire), 1029 (Gergal), 1030 (Tabernas), 1031 (Sorbás), 1043 (Berja), 1044 (Alhama), 1045 (Almería), 1046 (Carboneras), 1057 (Adra), 1058 (Roquetas), 1059 (Cabo de Gata), y 1060 (El Pozo de los Frailes).

Los suelos estudiados son 360. Sólo hemos tratado los datos de los horizontes A. La mayoría de los suelos carecen de B, y el tratamiento conjunto de horizontes A y B hubiera complicado considerablemente el modelo estadístico.

En primer lugar hemos atendido a los datos climáticos. Las estaciones meteorológicas que corresponden a la hoja estudiada se elevan a 131.

Se han manejado los datos de Precipitación anual total. El estudio de los datos mensuales hubiera requerido un tiempo demasiado largo, y una cantidad de datos que no hubieramos podido manejar con el programa utilizado. Este ha sido el programa Systat, en su versión 5.1.

Evidentemente, también la temperatura es importante. Pero, además de que carecemos de datos para muchos perfiles publicados en las hojas estudiadas, está fuertemente correlacionada con la Altitud, como se muestra en la memoria de todas las hojas, por lo que su acción está de alguna manera, implícita en el estudio de ésta.

Los caracteres de la roca madre son difíciles de expresar en forma cuantitativa, y además, en las descripciones de suelos utilizadas, los

datos son escasos y poco significativos. El roquedo es muy variado. Existe todo tipo de rocas sedimentarias, calizas, dolomías, areniscas, conglomerados, etc. Son muy abundantes las rocas metamórficas, como pizarras y arcillitas.

Por los mismos motivos, tampoco se ha incluido la vegetación.

La energía del relieve es muy fuerte (Fig. 1). Desde el nivel del mar, se alcanzan en pocos kilómetros altitudes superiores a los dos mil metros. Se ha integrado en este estudio únicamente como Altitud.

RESULTADOS

Correlación entre Precipitación anual total, Altura, Longitud y Latitud.

Hemos calculado la correlación entre Altitud, Precipitación total (logaritmo neperiano), Longitud y Latitud, expresadas estas últimas como coordenadas UTM.

Empleando el coeficiente de correlación de Pearson, obtenemos los valores de R^2 (tabla 1).

Las variables están correlacionadas entre sí de forma significativa, con excepción de la Precipitación total. La correlación Altura-Longitud, tiene un nivel de significatividad de 0.1. Los datos nos indican que existe una variación del relieve ligada con Longitud y Latitud. Es decir, la Altitud media disminuye de este a oeste y de norte a sur, y con ella, la Precipitación, condicionada en primer lugar por la Altura, y en segundo lugar por Longitud.

La matriz de correlación hace pensar en la existencia de multicolinealidad. Los valores

elevados de R^2 , y del estadístico F (227.7), así lo indican (Abascal y Grande, 1989). La existencia de valores propios próximos a cero (0.002 y 0.008), índices elevados (47.9, 677.7), proporciones de la varianza (dos valores superiores 0.99), y los datos de la matriz de correlación de los coeficientes de regresión (valores del orden 0.996) así lo confirman. Existirían entonces demasiados predictores para obtener resultados fiables (Abascal y Grande, 1989).

Los valores de los errores standard, de la tolerancia, y especialmente de t que indican una probabilidad menor de 0.000 para los coeficientes de la regresión señalan lo contrario, especialmente para logaritmo de Precipitación-Latitud. La matriz de correlación de los coeficiente de regresión indica que el logaritmo de la Precipitación es la variable más significativa. Se ha obtenido la expresión siguiente.

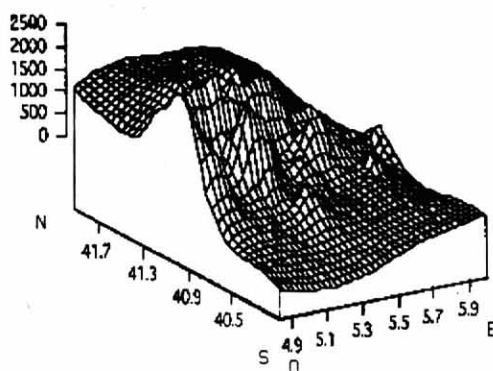


Figura 1. Diagrama del área estudiada. Escalas horizontales expresadas en coordenadas UTM. Altitud en metros.

Tabla 1. Matriz de correlación entre las variables Longitud, Latitud, Altura y logaritmo neperiano de la Precipitación total anual.

	LONGITUD	LATITUD	ALTURA	LOG.PRECIP.
LONGITUD	1.000			
LATITUD	0.058	1.000		
ALTURA	-0.581***	0.459**	1.000	
LOG.PRE.	-0.675***	-0.043	0.712***	1.000

Tabla 2. Componentes principales. Valores propios, vectores propios y varianza.

Valores propios				
1	2	3	4	
1.710	1.008	0.020	0.000	
Vectores propios				
	1	2	3	
LONGITUD	-0.447	0.640	0.067	
LATITUD	0.201	0.709	-0.038	
ALTURA	0.879	0.192	-0.056	
Ln.PRECIP.	0.835	-0.040	0.104	
% Varianza explicada				
1	2	3	Suma	
62.4	36.8	0.020	98%	

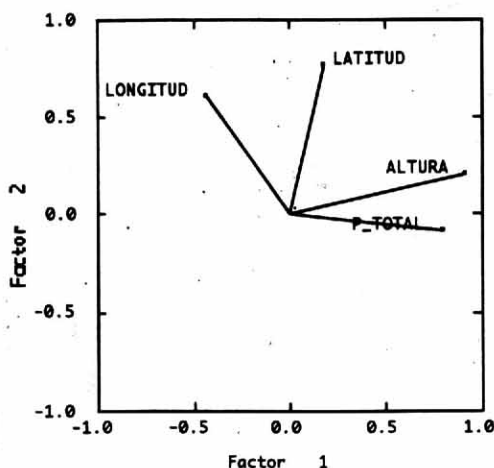


Figura 2. Logaritmo neperiano de Precipitación. Correlación entre valores reales y calculados.

Tabla 3. Símbolos utilizados de las distintas variables estudiadas.

A Longitud	J H ₂ O 1/3 atmósfera
B Latitud	K H ₂ O 30 atmósferas
C Altura	L pH en agua
D Arcilla	M pH en ClK
E CEC	N CO ₃ Ca
F Na+ de cambio	O Carbono
G K+ de cambio	P Nitrógeno
H Mg++ de cambio	Q Ln Precipitación
I Ca++ de cambio	R Conductividad

$\text{Ln Precipitación} = 45.1 + 0.001 \times \text{Altura}$
 $R^2 = 0.759$, estadístico $F = 540.89$, Probabilidad 0.000, error standard del estimado 0.243.

Estos datos se representan en la Fig. 2.

A mayor altura existe una Precipitación más elevada, como es habitual.

Un análisis en Componentes Principales puede aclararnos la importancia de las distintas variables en la distribución de la pluviosidad (Fig. 3 y 4).

La altura está muy próxima al factor primero, mientras que Longitud y latitud están más próximas al segundo. La proyección sobre los factores primero y tercero muestra como la Longitud marca un sentido contrario a la restantes variables.

Los valores numéricos correspondientes figuran en la tabla 2.

Los dos primeros componentes justifican 98% de la varianza explicada. El primer componente está ligado a la altura, y el segundo, condicionado por la longitud y latitud.

Correlación entre las propiedades de los suelos

Los símbolos utilizados para designar las propiedades figuran en la tabla 3. La tabla 4, muestra la matriz de probabilidades de la correlación de Pearson. Son frecuentes los niveles de significación elevados.

En la tabla 5 figuran las ecuaciones que relacionan los valores de las variables propias de cada suelo, con las ambientales, Altitud, Latitud y Longitud.

Puede hacerse notar los altos valores de R^2 , del cociente F y de la probabilidad para relaciones entre distintas variables.

No existe correlación significativa entre arcilla o capacidad de cambio con altura. No parece existir, por tanto, una evolución de la arcilla en función de esta variable. Si existe entre arcilla y capacidad de cambio.

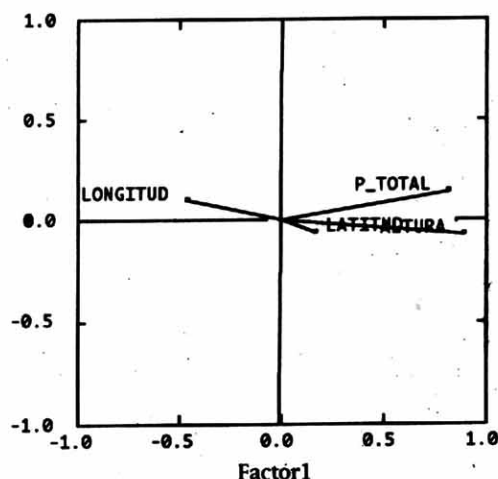


Figura 3. Componentes principales. Proyección sobre el plano de factores 1 y 2.

La correlación entre los valores de la Precipitación, Longitud, Latitud y Altura, en los datos correspondientes a los perfiles, no tiene significación real, dado que los valores de la Precipitación han sido calculados en cada perfil en función de esas variables, y no medidos. De hecho, las únicas variables de campo con que contamos son Longitud, latitud y altura. Por tanto, en función de éstas, o de sus combinaciones matemáticas, hemos de estudiar nuestros datos.

El contenido absoluto en carbonato cálcico no tiene correlación significativa con los factores de desarrollo del suelo. Comparando con estudios realizados en otras áreas (Navarra), con mayor precipitación, aquí ésta no es suficiente para eliminar los carbonatos del suelo. La mayor o menor abundancia de éstos se derivaría del contenido en la roca madre, dato que no estudiamos directamente, y no tendría significación genética.

Otras propiedades entre sí.

Las características propias de cada suelo están siempre interrelacionadas, cuando se han alcanzado las condiciones de equilibrio. Es lógico, que para un conjunto de suelos ocurra lo mismo. Así, pH, pluviosidad, sodio, potasio,

magnesio y calcio de cambio están interrelacionadas. También la conductividad depende de esas variables.

Más difícil de explicar es la relación entre magnesio de cambio y contenido en arcilla.

No existe correlación entre el valor de la CEC y los contenidos en arcilla. La tipología de arcillas por tanto debe ser distinta, y como ya vimos, heredada.

Componentes principales.

Las relaciones entre las distintas variables, y la posible existencia de algún factor que justifique su distribución se ha estudiado mediante el análisis de componentes principales. La mayor representatividad espacial se ha obtenido mediante una rotación Varimax, con veinticinco iteraciones. En la tabla 5 figuran los valores obtenidos con y sin rotación. Las gráficas (Figura 5) se refieren únicamente a los valores rotados.

Nos hemos limitado el estudio de los cuatro primeros componentes con valor propio superior a la unidad, cuya suma justifica el 60% de la varianza explicada.

La distribución sobre los ejes no rotados es la siguiente:

Sobre el primer eje cargan, con valores mayores 0.5, el agua retenida a 1/3 y 30 atmósferas, magnesio, potasio y sodio de cambio, arcilla y capacidad de cambio total.

Sobre el segundo, pH en H_2O y ClK, Precipitación, carbono y nitrógeno.

Del tercero, son responsables CO_3Ca total y sodio de cambio. Sobre el cuarto eje, únicamente la conductividad tiene un valor elevado.

Si estudiamos las influencias sobre los valores rotados, las diferencias son pequeñas, pero pueden ser significativas a la hora de interpretar resultados.

Sobre el primer eje cargan las mismas variables, con la excepción de calcio de cambio, que lo hace sobre el segundo, y el sodio cambiante, que, con un valor ligeramente inferior a 0.5, aporta información sobre este primer eje.

La Precipitación reparte su carga sobre los

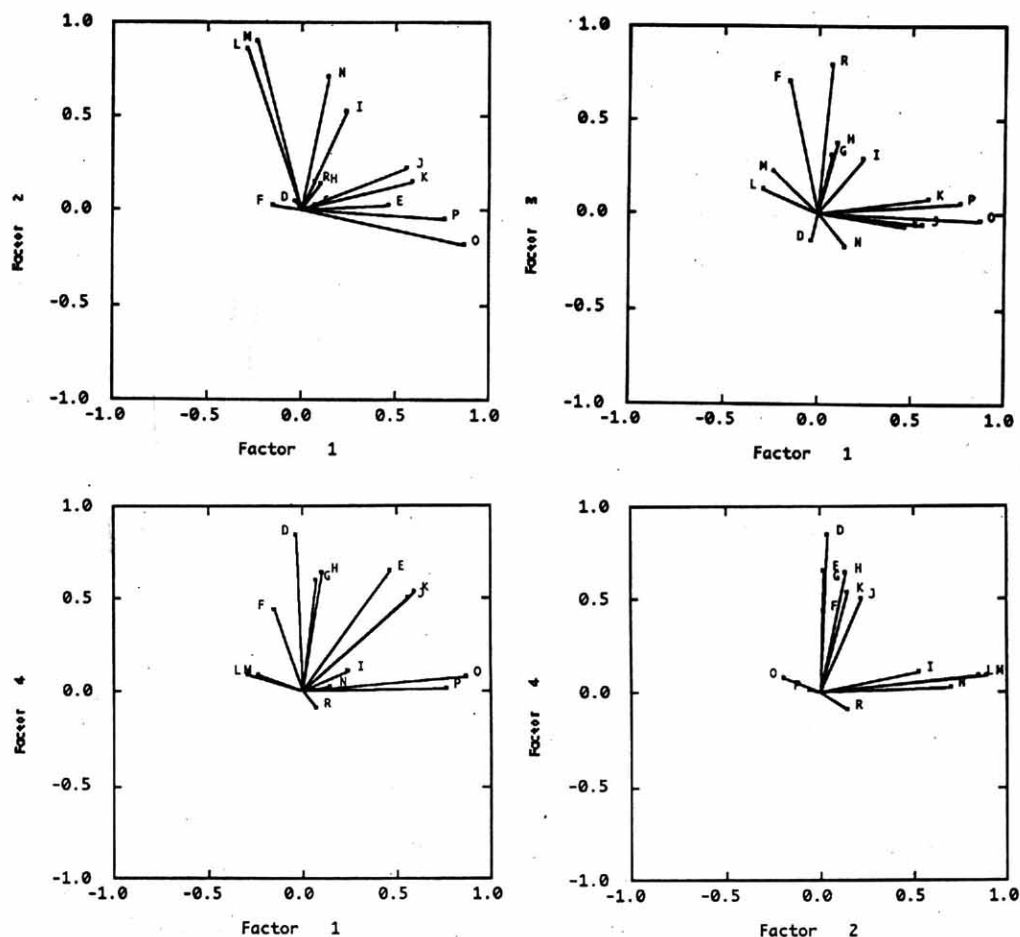


Figura 4. Componentes principales. Proyección sobre el plano de los factores 1 y 3.

eje dos y tres, aunque mayoritariamente en este último, en el que sodio de cambio tiene una influencia importante, igual que la conductividad. Sobre el cuarto eje, tienen influencia la retención de agua, y el contenido en carbono y nitrógeno.

Si se efectúa la proyección de cada individuo suelo en los planos fijados por los distintos ejes, (gráficos no presentados), la nube de puntos no tiene ninguna distribución especial, sin que se separen grupos de suelos en ningún caso. Existe una gran continuidad en la distribución de los puntos dentro de la nube.

Sin embargo, si se aíslan los grupos de puntos que están situados en el extremo de cada eje, y se estudia sus características, cada grupo es significativamente distinto en las variables que cargan sobre los distintos ejes con valor mayor que 0.5. La significatividad es alta, con posibilidad de error menor que 0.000.

DISCUSIÓN

Como vimos en su momento, las dos variables independientes que hemos tenido en con-

Tabla 5. Ecuaciones que ligan variables características de los suelos.

$G = -41.25 + 12.8 \times A + 0.94 \times L - 0.01 \times C$	$R^2 = 0.129$	$F = 8.61$	$P = 0.000$
$H = -969.8 + 194.2 \times A + 23.7 \times C + 0.02 \times C$	$R^2 = 0.128$	$F = 8.459$	$P = 0.000$
$Q = -1.659.0 - 288.56 \times A - 40.66 \times B - 0.88 \times C + 7.07 \times B \times A - 0.001 \times A \times C$	$R^2 = 0.197$	$F = 14.253$	$P = 0.000$
$I = 10.95 - 3.76 \times A - 0.045 \times B - 0.001 \times C + 0.088 \times B \times A$	$R^2 = 0.48$	$F = 80.7$	$P = 0.000$
$F = -247.99 + 57.14 \times A + 6.0 \times B - 0.044 \times C - 1.38 \times A \times B$	$R^2 = 0.170$	$F = 11.93$	$P = 0.000$
$G = -41.25 + 12.85 \times A + 0.943 \times B - 0.013 \times C - 0.3 \times A \times B$	$R^2 = 0.129$	$F = 8.617$	$P = 0.000$
$H = -969.8 + 194.21 \times A + 23.69 \times B + 0.02 \times C - 4.733 \times A \times B$	$R^2 = 0.128$	$F = 8.459$	$P = 0.000$
$I = -6938.32 + 1241.88 \times A + 169.14 \times B + 0.496 \times C - 30.19 \times A \times B$	$R^2 = 0.111$	$F = 7.291$	$P = 0.000$

sideración, Precipitación total y Altura están fuertemente correlacionadas, aunque influyen también Longitud y Latitud. La Precipitación tiene valores bajos, y la energía de relieve es elevada. El estudio en componentes principales de las propiedades externas al suelo muestra que los dos primeros valores propios, ligados a pluviosidad, altura y posición geográfica justifican el 98% de la varianza explicada. Resta sólo un 2% sin explicar.

Las propiedades internas de los suelos están con frecuencia correlacionadas con la Precipitación, que como hemos visto es función de Altitud y situación geográfica. Así, por ejemplo, los cuatro cationes de cambio más abundantes, sodio, calcio, potasio y magnesio dependen, en sus valores absolutos, de altura, Longitud y latitud. (No se dispone de datos sobre el hidrógeno de cambio). En cambio, si se estudia el porcentaje de saturación de cada catión, los valores obtenidos no muestran relación con las tres variables indicadas, excepto en el caso del sodio. Posiblemente por la disparidad de criterios y métodos empleados por los distintos autores en el cálculo de la CEC.

Los valores del pH, tanto en agua como en cloruro potásico, aparte de estar significativamente correlacionados entre sí, lo están

también con Latitud, Longitud y Altura, y a través de éstas variables, con la Precipitación.

La conductividad es función del contenido en sodio de cambio. También magnesio y potasio afectan, aunque con valores no significativos, y en sentido inverso al sodio, a la conductividad.

Del análisis en componentes principales podemos deducir una serie de hechos, que parcialmente confirman los ya expuestos, y también permiten averiguar la acción de los factores genéticos.

La información que nos suministran los componentes sin rotación, indican que el primer componente expresa una serie de caracteres ligados a la roca madre, y especialmente al contenido en arcilla, que al no haber evolución, es heredada. El contenido en ésta, marca la retención de agua, el valor de la CEC, y el contenido en cationes de cambio, con excepción del sodio, que condiciona el tercer componente.

El segundo eje está ligado con la Precipitación, y las propiedades que dependen de ésta, como cantidad de materia orgánica y valores del pH. Este indicaría un cierto grado de lavado, reducido, ya que no llega a condicionar de manera aparente la conducta de los cationes de cambio, con la excepción del sodio.

Tabla 6. Componentes principales. Valores propios, varianza y vectores propios de las distintas variables sobre los cuatro primeros factores.

Valores propios.	Varianza explicada	
	Individual %	Acumulada%
3.899	25.998	25.998
3.058	20.385	46.383
1.471	9.805	56.188
1.174	7.820	64.008

Carga de las variables sobre los primeros cuatro componentes.

Ejes no rotados.

	1	2	3	4
K	0.734	0.353	0.099	-0.009
H	0.686	-0.029	-0.300	0.071
J	0.678	0.354	0.234	0.113
E	0.671	0.386	-0.019	0.158
G	0.578	0.012	-0.352	0.057
D	0.577	0.118	-0.218	0.568
M	0.446	-0.808	0.293	-0.005
L	0.367	-0.773	0.298	0.083
O	0.335	0.704	0.224	-0.366
Q	-0.286	0.596	0.149	0.233
P	0.337	0.510	0.229	-0.422
N	0.325	-0.267	0.605	0.116
F	0.483	-0.250	-0.579	-0.120
R	0.286	-0.317	-0.275	-0.611
I	0.500	-0.218	0.258	-0.173

Carga de las variables sobre los primeros cuatro componentes.

Ejes rotados.

	1	2	3	4
D	0.830	0.062	-0.142	-0.070
E	0.658	0.043	-0.055	0.432
H	0.656	0.123	0.330	0.109
G	0.595	0.016	0.318	0.078
K	0.568	0.158	0.026	0.569
J	0.541	0.228	-0.147	0.536
M	0.082	0.888	0.308	-0.218
L	0.074	0.839	0.208	-0.272
N	0.033	0.705	-0.200	0.137
I	0.150	0.510	0.215	0.255
R	-0.058	0.112	0.774	0.126
F	0.470	-0.016	0.640	-0.125
Q	-0.044	-0.388	-0.566	0.201
O	0.098	-0.170	-0.064	0.866
P	0.035	-0.048	0.051	0.774

El tercer y cuarto eje están condicionados por sodio de cambio y conductividad. Expresarían, tal vez, situaciones topográficas concretas, en las que el sodio se acumula y hace aumentar la conductividad.

Conducta muy peculiar es la del contenido total en carbonato cálcico. No aparece condicionado por el primer componente, -roca madre-, ni por el segundo, Precipitación y lavado. Además, su conducta es paralela a la del sodio.

En conjunto, podemos indicar que los caracteres de los suelos en el área estudiada dependen fundamentalmente de la roca madre, y en segundo lugar del clima.

Los datos obtenidos tras una rotación Varimax son algo diferentes. El primer componente sigue ligado a la arcilla, y con ella a la CEC y a la retención de agua -aunque ésta participa también en el cuarto componente-, y a los cationes de cambio potasio, magnesio, y en menor medida, sodio.

En el segundo componente, los valores del pH son los dominantes, acompañados de calcio cambiante, carbonato cálcico total, y, en menor medida, con Precipitación, que comparte con el tercero. Este, además, expresa la conductividad y el sodio de cambio. Materia orgánica, -carbono y nitrógeno-, corresponden al cuarto componente, acompañando a la retención de agua. Esta queda aquí mas condicionada por la materia orgánica que por la arcilla, a diferencia de lo que vimos en el caso de componentes no rotados.

Como resumen, la rotación Varimax expresa también la importancia de la roca madre, especialmente su contenido en arcilla, y el retoque subsiguiente del factor clima. Subraya la conducta diferente de los cationes de cambio, especialmente del sodio, ligada a la conductividad, y del calcio, paralela al contenido en carbonato. Es difícil de explicar a que factor, o factores edáficos, está ligado el cuarto componente, condicionado por materia orgánica.

En síntesis, el estudio de las correlaciones de los caracteres edáficos entre sí, y el análisis

multivariante, aparecen aquí como medios complementarios, que permiten sintetizar, de forma expresiva, el grado de evolución de los suelos de la región estudiada.

Evidentemente, los métodos de análisis matemático, por complejos que sean, no pueden explicar nada que no esté en los datos de partida. La adición a éstos de la naturaleza de la roca madre, del tipo de vegetación potencial, y una especificación más profunda del relieve, permitirían, sin duda, una mayor concreción y riqueza en los resultados. Estos datos son difíciles, aunque no imposibles, de cuantificar numericamente. Como dijimos, no suelen figurar con suficiente precisión en las descripciones habituales de perfiles. Hemos de limitarnos a tratar los que normalmente existen, y pueden utilizarse como factor común en nuestro trabajo.

REFERENCIAS

- Abascal, E., Grande, N. (1989). Métodos multivariantes para la investigación comercial. Ariel, S.A.
- Beckett, P.H.T., Webster, R. (1971). Soil variability: A review. *Soils Fert.*
- Brubaker, S., Jones, A.S.; Frank, K. Regression models for estimating soil properties by landscape position. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 58.6, 1763-1767.
- Corey, R. B. (1987). Soil Test Procedures: Correlation. SSSA Special Publication Number 21.
- Finzi, A.; Novo, A.; Silvio, S. Silvio. (1991). An application of multivariate analysis to acid rain data in northern Italy to discriminate natural and man-made compounds. *Environ. Monit. Assess.* (2-3): 273-280.
- Delgado, R.; Aguilar, J.; Delgado, G. (1994). Use of numerical estimators and multivariate analysis to characterize the genesis and pedogenic evolution of xeralf from southern Spain. *Catena* 23, 3-4.
- Hanway, J.J. (1973). Experimental methods for correlating soil test. 55-66. En L.M. Walsh y J.D. Beaton. *Soil testing and plant analysis*. SSSA, Madison.
- Jenny, H. (1930). The nitrogen content of the soil as related to the precipitation-evaporation soil ratio. *Soil. Sci* 29, 189-192.
- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation. McGraw-Hill, Nueva York.
- Rigney, J.A. (1956). Sampling soils for composition studies. *Pro. Am. Soc. Hort. Sci.*, 68:569-575.
- Stelly, M. (1977). Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. Special Pub. 29 SSSA. Publicación 29.
- Vieira, S.R., Hatfield, D.R. Nielsen, Biggar J.W. (1983). Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51(3).
- Webster, L.P. (1977). Quantitative and numerical methods in soil classification and survey. Oxford.
- Webster, R. (1985). Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field. En B.A. Stewart, *Advances in Soil Science*.
- Yaalon, D.H. (1975). Conceptual models in pedogenesis: Can soil-forming functions be solved?. *Geoderma* 14, 189-205.