

LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES FORMADORES EN LAS VARIACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE LOS MONTES DE MÁLAGA

RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA
JOSÉ M^a SENCIALES GONZÁLEZ

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la relación que existe entre las características y propiedades de los suelos de los Montes de Málaga y los factores formadores, concretamente el clima y el relieve, para determinar cuáles son los que tienen mayor influencia para explicar las variaciones de dichas propiedades. Con este fin, se ha empleado el análisis estadístico multivariante, concretamente el análisis factorial.

Los resultados obtenidos indican que los elementos del medio físico con mayor influencia sobre las características y propiedades de los suelos de los Montes de Málaga son la altitud, el índice de humedad y la macroexposición y, en menor medida, la posición fisiográfica y la microexposición.

ABSTRACT

The objective of this work is to show the relationship existing between the characteristics and properties of the Mounts of Málaga soils and the environmental characters, the climate and the relief, to determine which are those with a bigger influence to explain the variations of this properties. With this objectives, the multivariate statistical analysis has been used, in particular the factor analysis.

The obtained results indicate that the environmental character with more influence on the characteristics and properties of the Mounts of Málaga soils are the altitude, the index of humidity and the general exposure and, in a lesser extend, the physiographic position and the particular exposure.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Generalmente, todos los autores suelen coincidir al considerar el suelo como el reflejo de la interacción entre los factores ecológicos del medio, los cuales, tradicionalmente, se conocen como factores formadores. Existen 5 factores formadores que pasan a 6 si se considera la influencia determinada por el hombre: litología, relieve, clima, organismos vivos, tiempo e influencia antrópica.

El proceso de formación de un suelo viene determinado por la acción de los factores citados, ya sea de forma independiente o conjunta debido a la interacción entre ellos, determinando su acción la dirección, velocidad y duración de los procesos de formación del suelo.

La **litología** constituye un elemento pasivo en la edafogénesis, sobre el que actúan otros factores que lo transforman (Porta et alii., 1999). Es un factor de fuerte influencia sobre las propiedades de los suelos, no en vano la litología constituye el material parental o roca madre a partir de la cual se desarrolla el suelo, considerándose, generalmente, como una de las causas principales de variabilidad a escala local en las propiedades de los suelos (Dent y Young, 1981).

La influencia de la litología sobre la formación de un suelo es tan variada como variada es la naturaleza de las rocas de la superficie de la tierra. A nivel general, la litología influye sobre la textura, estructura, color, composición química y mineralógica de los suelos, entre otras características y propiedades.

El **relieve** se puede considerar un macrofactor que agrupa a varios elementos del medio. La revisión bibliográfica efectuada (Van Zuidam et alii., 1979; Dent y Young, 1981; Hall y Olson, 1991; SSS, 1993; CEOTMA, 1998; Porta et alii., 1999) ha permitido diferenciar que los elementos del relieve que normalmente se analizan son los siguientes: posición fisiográfica, pendiente, forma de ladera, exposición de ladera, longitud de ladera, altitud y altura relativa y microrelieve.

El relieve es un factor de gran importancia porque generalmente existe una estrecha relación entre éste y la distribución de los suelos en el territorio (Dent y Young, 1981; Briggs y Shishira, 1985; Hall y Olson, 1991; Hartung et alii., 1991, SSS, 1993; Porta, 1999), debido, principalmente, al diferente comportamiento hidrológico (Dent y Young, 1981; Briggs y Shishira, 1985; Hall y Olson, 1991; SSS, 1993) y a las diferentes propiedades físicas y químicas (Hall y Olson, 1991; Stoops, 1997) que se pueden observar en las distintas unidades de relieve.

El **clima** es uno de los factores formadores más importantes. De sobra es conocido por todos la influencia edafológica a escala planetaria del clima, en la que los cambios relativamente graduales y en sentido latitudinal de las condi-

ciones climatológicas, provocan las llamadas distribuciones zonales de suelos. A una escala más detallada el clima sigue teniendo importantes consecuencias sobre el suelo, ya que condiciona gran número de procesos, de ahí que se le considere un factor activo en la edafogénesis. Entre las principales procesos condicionados por el clima destacan la meteorización de las rocas, la actividad biológica y la humificación y mineralización de la materia orgánica, entre otros.

El factor **organismos vivos** posee también gran influencia. Los organismos del suelo pueden tener diferente origen, de ahí que se diferencien los que tienen un origen vegetal, como las plantas, de los que tienen un origen animal, como los vertebrados, invertebrados y microorganismos.

La vegetación determina, en gran parte, las características morfológicas del suelo (Birkeland, 1984); así como, ciertas propiedades físicas y químicas de los mismos, como la meteorización de las rocas, el aporte de materia orgánica y los procesos hidrológicos, entre otros (Birkeland, 1984; Cerdà, 1995; Porta, 1999).

Los organismos de origen animal determinan importantes procesos físicos y químicos del suelo, como el aporte y la descomposición de la materia orgánica, redistribución de partículas en el suelo, etc.

El **tiempo** es un factor intangible porque su influencia se ejerce indirectamente, ya que el suelo se forma y evoluciona por la interacción de los demás factores a lo largo del tiempo.

Por último, el **hombre** se considera también un factor, aunque más que formador sería modificador, debido a que este agente es capaz de alterar las características morfológicas, así como las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Son numerosos los trabajos que han intentado analizar la relación que existe entre los factores formadores y las características y propiedades de los suelos.

Pennock y Acton (1989) estudian una serie de catenas de suelos en las que analizan la relación que existe entre el relieve y los suelos, concluyendo que los diferentes procesos hidrológicos que existen en las diferentes posiciones fisiográficas influye sobre la génesis de los suelos.

Santos et alii (1993) realiza una cartografía de suelos de uno de los tramos de la Sierra del Relumbrar (Albacete) y utiliza para definir las unidades de suelos los factores litología y posición fisiográfica.

Tudela et alii. (1993) realiza una cartografía geomorfológica que sirve de base posteriormente para la elaboración del mapa de suelos. Las unidades de suelos se definen sobre la base de los factores litología y relieve, concretamente, posición fisiográfica, altitud y pendiente.

Pons et alii. (1993) estudia la relación que existe entre la litología y los suelos en el valle de la Murta (Valencia), estableciendo una litosecuencia de suelos.

Lozano et alii. (1994) realiza una cartografía de unidades geomorfoedáficas en la cuenca del río Gualchos (Granada) y establece que los factores formadores con mayor influencia son la litología, el clima y el relieve.

Soriano et alii (1996) estudia las variaciones de las propiedades físicas y químicas de los suelos en función del relieve, concretamente la altitud, y el clima, a través de la exposición, debido a las influencias que ejerce este factor sobre las características microclimáticas de una zona. Estos autores analizan, por tanto, las variaciones de las propiedades del suelo siguiendo un gradiente climático y altitudinal.

Ferre et alii (1995) realiza una cartografía de unidades geomorfoedáficas en el que se relaciona la fisiografía, la litología y el clima con las características y propiedades de los suelos de los Montes de Málaga.

Blanco (2000b) estudia las variaciones de ciertas características del suelo como la profundidad efectiva, los afloramientos rocosos, la pedregosidad y la cobertura herbácea en función de la litología y la exposición, con unos resultados altamente significativos. En este trabajo se analiza, además, la relación entre la posición fisiográfica y la distribución de suelos a nivel taxonómico, definiendo una toposecuencia de suelos en la que se puede observar diferentes grados de conservación y desarrollo.

Como se puede observar, todos los autores consultados parecen coincidir en la importancia de los factores clima, litología y relieve para explicar las variaciones de las características y propiedades de los suelos; mientras que, el resto de los factores formadores no se han tenido en cuenta o bien no han presentado la correlación necesaria para poder explicar las variaciones de dichos parámetros.

El objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la relación que existe entre las características y propiedades de los suelos de los Montes de Málaga y los factores formadores, concretamente el clima y el relieve. No se ha incluido el factor litología porque la zona de estudio, como se verá, se caracteriza por una litología homogénea.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se han estudiado un total de 32 perfiles de suelos. La descripción morfológica se ha realizado siguiendo a la FAO (1977; 1990) y la clasificación taxonómica de suelos que se ha utilizado es la última versión de la FAO (1998).

Las características y propiedades del suelo que se han utilizado en el análisis son las siguientes: textura, materia orgánica, pH, carbonato cálcico, bases de cambio, capacidad de intercambio catiónico, tasa de saturación en bases, capacidad de retención de agua a la capacidad de campo y en el punto de marchi-

tamiento permanente, profundidad del suelo y, por último, un valor indicativo de la evolución taxonómica de los suelos, que se explicará más adelante. Se ha calculado un valor representativo de los 50 primeros centímetros de cada perfil a partir de la media ponderada y en función de la profundidad de cada horizonte. Se ha elegido una profundidad concreta, como la indicada, para no desvirtuar los datos, pues existen suelos con perfiles de muy diferente potencia.

Los factores formadores que se han utilizado en el análisis son el clima y el relieve. En el primer caso se ha calculado el índice de humedad de Thornthwaite para cada perfil; mientras que, en relación al relieve se ha empleado la altitud, posición fisiográfica, pendiente, macroexposición (solana/umbría) y microexposición del perfil.

Ambos conjuntos de datos se han sometido a un análisis estadístico multivariante con el objetivo de identificar la relación que existe entre los factores formadores y las características y propiedades del suelo. Se ha utilizado, concretamente, el análisis factorial.

El procedimiento de análisis factorial utilizado es el de componentes principales. Se han seleccionado aquellos factores con autovalores o valores propios (eigenvalues) superiores o iguales a la unidad. Se han eliminado de la matriz aquellas variables con cargas inferiores a 0,250, como aconsejan Barahona et al. (1982) y Donkin y Fey (1991), citados ambos trabajos por Sánchez et alii. (1996).

Los resultados se presentan en la matriz de componentes principales, sobre la que se ha realizado una transformación ortogonal mediante el método de rotación Varimax, obteniéndose, de esta forma, la matriz de componentes principales rotados, analizándose tanto una como otra.

Los coeficientes que aparecen en las matrices indican la carga de cada variable en cada factor. Para facilitar el análisis se ha tenido en cuenta, principalmente, los pesos factoriales más elevados, concretamente los que corresponden a las variables que se saturan en alguno de los factores. Por ello, se han marcado en negrita, en cada una de las matrices, los coeficientes en los que se saturan las variables consideradas.

Se ha utilizado para este tratamiento estadístico el programa SPSS, versión 10.0.

Algunas de las variables que se han utilizado en el análisis factorial son de carácter alfabético, por lo que ha sido necesario el uso de unas correspondencias numéricas. Éstas han sido asignadas siguiendo criterios de correlación.

La macroexposición se ha puntuado con 1 para la solana y con 2 para la umbría. La microexposición se ha puntuado con 1 para las exposiciones indefinida y sur, con 2 para las exposiciones este y oeste y con 3 para la norte. Estas puntuaciones se correlacionan con la existencia de tasas de humedad más elevadas a medida que pasamos de las zonas de solanas a las de umbría, con

respecto a la macroexposición, y de las zonas de exposición sur a las de exposición norte, considerando las exposiciones este y oeste intermedias, en el caso de la microexposición (Blanco, 2000a)

La posición fisiográfica se ha puntuado de la siguiente forma: 1 para los perfiles situados en fondo de valle o terrazas fluviales, 2, 3 y 4 para los situados en laderas baja, media y alta, respectivamente, y 5 para las zonas de cumbre. Estas puntuaciones siguen un incremento indicativo del estado de conservación de los suelos, aspecto que fue puesto de manifiesto por Blanco (2000b) para suelos de este mismo escenario de estudio.

Y, por último, la clasificación taxonómica de los suelos se ha puntuado con 1 para los suelos que no presentan horizontes de diagnóstico y con 2 para los que sí lo presentan. Estas puntuaciones siguen un simple incremento, indicativo del grado de evolución de los suelos.

3. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situada en los Montes de Málaga, concretamente entre 180 y 970 metros de altitud. Este área es homogénea desde el punto de vista litológico, ya que los perfiles se han realizado en las series de filitas, grauwacas y calizas alabeadas silúrico-devónicas y las filitas precámbrico-paleozoicas.

El relieve es muy contrastado, como así los atestiguan los importantes desniveles relativos y las pendientes que se observan. La pendiente media se eleva al 40%, aunque existen máximos que llegan incluso a superar el 60%.

El clima es relativamente contrastado ya que pasamos de un clima subtropical en solana y a una altura relativa baja, a un clima mediterráneo marítimo en la misma exposición pero a una altura relativa media, para terminar con un clima mediterráneo templado en las zonas de umbría.

La zona de estudio ha estado afectada, de forma secular, por un aprovechamiento, primero agrícola y actualmente ganadero y forestal. La vegetación natural ha sufrido, por esta causa, considerables transformaciones. La primitiva formación boscosa de quercíneas ha dado paso a las actuales formaciones de matorral, que hoy se pueden observar en las zonas que tienen un aprovechamiento ganadero; o bien, al bosque de coníferas en las zonas que sufrieron la repoblación forestal a partir de la década de los años 30 del siglo XX.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características y propiedades de los 32 perfiles de suelos analizados aparecen en el cuadro 1. Estos datos han servido para realizar el análisis factorial.

El análisis factorial realizado ha agrupado a las 20 variables consideradas en 6 factores (cuadro 2 y 3). Todos ellos explican el 78,2% de la varianza total, lo que se puede considerar un resultado muy significativo si se tiene en cuenta que el margen de varianza utilizado por Sánchez et alii. (1996) oscila entre el 68,5 y el 88,3%.

El factor 1 de la matriz de componentes se ha denominado "factor evolución". Este, por sí solo, explica el 24,7% de la varianza. En este factor se saturan 8 variables. Las zonas de mayor altitud de los Montes se encuentran principalmente en las zonas de umbría, donde existe un índice de humedad más elevado. Las mayores tasas de humedad de estas zonas explican porque los suelos se encuentran más evolucionados, presentando un perfil de mayor profundidad y un mayor contenido en arcillas, junto con un menor contenido en arenas y gravas. Estas características texturales explican por qué existe una capacidad de retención de agua a la capacidad de campo y, sobre todo, un punto de marchitamiento permanente más elevado en las zonas de mayor altitud y, por tanto, de umbría.

El factor 2 de la matriz de componentes rotados confirma estas ideas.

El factor 2 de la matriz de componentes se ha denominado "factor fertilidad". Está compuesto por 7 variables saturadas que explican el 18,1% de la varianza total. En este factor el sumatorio de las bases de cambio y la capacidad de intercambio catiónico están altamente relacionadas con el aumento de la proporción de limos y la disminución de las gravas y arenas. Este factor se asocia espacialmente con las exposiciones de solana.

En el factor 1 de la matriz de componentes rotados se pone de manifiesto esta misma relación. En este caso, también se relaciona el mayor contenido en bases de cambio y la mayor capacidad de intercambio catiónico con una tasa de saturación en bases más elevada.

El factor 3 de la matriz de componentes es el "factor pH". En este factor se saturan 3 variables que explican el 11,9% de la varianza total. El pH del suelo mantiene, lógicamente, una relación directamente proporcional con el contenido en carbonato cálcico e inversamente proporcional con el contenido en materia orgánica; es decir, el pH del suelo desciende a medida que disminuye el contenido en carbonato cálcico, lo que se relaciona con el aumento en materia orgánica del suelo. Esta correlación se puede explicar porque 12 de los 32 perfiles analizados se encuentran bajo coníferas. Esta vegetación genera abundante materia orgánica pero es de carácter acidificante, aunque los datos que se disponen hasta el momento todavía no son particularmente expresivos en relación al pH.

Cuadro 1
Características y propiedades de los perfiles de suelos

Suelos	Altitud (m)	Posición Fisiográfica	Pendiente (%)	Solama/ umbría	Micro- exposición	Ih	Profun- didad (m)	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)
P1	810	Ladera alta	58	Umbría	Norte	0,98	125	41,91	23,03	35,01
P2	850	Ladera baja	35	Umbría	Noroeste	1,01	30	44,06	26,54	29,36
P3	850	Ladera baja	45	Umbría	Sureste	1,01	95	33,23	17,54	49,19
P4	900	Ladera alta	32	Umbría	Oeste	1,05	25	19,53	46,96	33,47
P5	940	Ladera media	55	Umbría	Suroeste	1,09	110	29,37	40,17	30,42
P6	860	Ladera alta	50	Umbría	Oeste	1,02	70	35,13	42,33	22,51
P7	770	Ladera media	40	Umbría	Noreste	0,95	30	45,54	27,68	26,76
P8	720	Ladera media	40	Umbría	Noreste	0,92	110	22,50	44,90	32,57
P9	780	Ladera media	40	Umbría	Noreste	0,96	140	39,68	15,01	45,27
P10	940	Ladera alta	40	Umbría	Suroeste	1,09	50	36,61	30,88	32,47
P11	910	Ladera alta	30	Umbría	Norte	1,06	110	37,08	36,97	25,90
P12	970	Cumbre	8	Umbría	Norte	1,11	25	41,69	30,51	27,75
P13	890	Ladera media	65	Umbría	Norte	1,05	50	35,64	30,47	33,85
P14	790	Rellano-ladera	32	Umbría	Oeste	0,97	30	33,22	33,68	33,04
P15	760	Ladera baja	28	Umbría	Norte	0,95	45	33,29	40,25	26,39
P16	760	Cumbre	15	Umbría	Norte	0,95	10	29,58	44,31	26,07
P17	780	Rellano-ladera	22	Umbría	Noreste	0,96	60	27,22	39,09	33,64
P18	770	Ladera media	30	Umbría	Norte	0,95	130	20,51	45,90	33,54
P19. P	805	Cumbre	45	Umbría	Oeste	0,98	100	26,50	52,74	20,75
P20. J	470	Rellano ladera	32	Solana	Noroeste	0,76	73	34,55	41,86	23,58
P21. T	915	Ladera alta	50	Umbría	Norte	1,07	95	59,02	29,16	11,81

Cuadro 1
Características y propiedades de los perfiles de suelos (continuación)

Suelos	Altitud (m)	Posición Fisiográfica	Pendiente (%)	Solama/umbria	Micro-exposición	Ih	Profundidad (m)	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)
P22. DV	355	Ladera baja	50	Solana	Sureste	0,69	35	42,17	40,90	16,92
P23. CC	410	Ladera alta	30	Solana	Oeste	0,72	16	29,70	52,00	18,30
P24. JA	800	Cumbre	20	Solana	Norte	0,98	90	32,48	47,81	19,70
P25. CE	680	Ladera media	42	Solana	Suroeste	0,89	47	25,78	47,02	27,19
P26. A	565	Rellano ladera	14	Solana	Oeste	0,81	45	21,33	62,08	16,57
P27. AL	870	Cumbre	10	Solana	Sur	1,03	57	48,17	33,00	18,83
P28. S	855	Rellano ladera	8	Solana	Sur	1,02	80	21,38	59,48	19,14
P29. M	720	Ladera media	60	Umbría	Norte	0,92	80	20,08	58,22	21,70
P30. F	180	terrazza (fondo)	15	Solana	Este	0,60	66	49,70	40,20	10,08
P31. FO	585	Fondo	28	Umbría	Sur	0,83	39	43,74	38,19	18,06
P32. CH	580	terrazza (fondo)	5	Umbría	Sur	0,82	45	60,80	25,90	13,30
Suelos	Gravas (%)	MO (%)	CO3Ca (%)	pH	S (mEq/100 gr.)	CIC (mEq/100gr.)	V (%)	CC (%)	PMP (%)	Clasificación
P1	36,80	0,96	0	7,64	17,78	17,78	100	21,48	17,12	Luvisol crómico
P2	58,57	2,71	32	8,41	4,61	4,61	100	22,43	17,56	Regosol calcárico
P3	28,84	1,42	0,60	8,15	14,24	14,24	100	24,93	19,36	Luvisol crómico
P4	39,71	7,39	0	7,04	16,37	16,37	100	30,58	20,92	Leptosol eútrico
P5	32,19	1,42	1,80	8,49	16,36	16,36	100	22,50	16,85	Cambisol eútrico
P6	12,29	1,33	0	7,11	18,26	18,26	100	17,70	13,10	Regosol léptico
P7	53,84	1,89	0	7,73	11,61	11,61	100	18,10	13,78	Regosol eútrico
P8	36,88	1,01	35,46	8,73	10,73	10,73	100	22,78	15,55	Calcisol háptico
P9	27,16	1,51	0	7,02	14,15	14,15	100	22,55	17,29	Luvisol crómico

Cuadro 1
Características y propiedades de los perfiles de suelos (continuación)

Suelos	Gravas (%)	MO (%)	CO ₃ Ca (%)	pH	S (mEq/100 gr.)	CIC (mEq/100gr.)	V (%)	CC (%)	PMP (%)	Clasificación
P10	36,57	1,63	4,40	8,53	13,06	13,06	100	20,74	16,28	Cambisol eútrico
P11	50,57	2,55	0	7,36	10,12	12,32	81,58	20,26	15,96	Regosol eútrico
P12	58,87	3,72	0	6,48	10,39	12,75	81,47	21,85	17,00	Leptosol eútrico
P13	36,54	1,32	0	7,38	12,71	13,56	92,99	23,01	18,49	Luvisol crómico
P14	60,98	1,66	0	6,52	12,92	13,32	97,03	19,64	15,75	Cambisol léptico
P15	54,35	0,93	0	7,15	13,22	14,07	93,92	16,15	13,18	Regosol eútrico
P16	43,60	2,24	0	5,63	6,51	11,80	55,17	17,64	14,80	Regosol léptico
P17	26,38	1,21	11,40	8,37	13,45	13,45	100	23,34	17,78	Calcisol háptico
P18	34,13	0,86	10,41	8,55	12,41	12,83	96,97	22,00	16,34	Calcisol háptico
P19. P	46,90	6,07	0	5,80	13,31	17,70	75,30	30,05	15,61	Luvisol crómico
P20. J	38,82	3,50	0	6,89	20,39	20,39	100	19,50	11,97	Leptosol eútrico
P21. T	69,38	4,06	0	6,81	13,33	16,20	82,14	19,05	10,52	Cambisol eútrico
P22. DV	61,56	3,92	0	7,40	12,06	12,05	57,14	10,54	8,06	Leptosol eútrico
P23. CC	60,90	4,34	0	7,05	16,84	16,84	100	16,52	9,28	Leptosol lítico
P24. JA	24,35	3,87	0	6,73	16,38	16,60	98,51	23,86	14,65	Cambisol crómico
P25. CE	15,96	2,97	0	6,93	21,20	21,20	100	60,73	20,59	Cambisol crómico
P26. A	12,63	0,45	21,62	7,77	15,06	14,92	77,77	23,10	15,99	Leptosol eútrico
P27. AL	36,75	4,09	0	8,11	22,82	22,82	100	24,01	14,68	Leptosol eútrico
P28. S	30,74	0,25	25,20	8,53	18,62	18,62	100	20,24	15,15	Calcisol háptico
P29. M	49,22	4,50	0	6,73	23,13	23,03	100	25,42	20,40	Cambisol crómico
P30. F	38,88	1,47	2,51	7,79	18,61	18,61	100	20,91	14,81	Fluvisol eútrico
P31. FO	47,22	2,56	0	6,55	11,61	14,12	84,38	18,44	9,50	Regosol eútrico
P32. CH	56,96	6,40	0	4,92	15,38	16,95	90,73	17,19	8,68	Fluvisol eútrico

El factor 3 de la matriz de componentes rotados vuelve a indicar esta misma relación.

El factor 4 de la matriz de componentes se ha denominado "factor erosión". Está compuesto por una sola variable saturada que explica el 10,3% de la variabilidad total. En este factor se pone de manifiesto que en las posiciones fisiográficas de ladera baja, pese a la mayor pendiente que generalmente presentan, es donde se encuentran los suelos más profundos, lo que evidencia un proceso de denudación de la mayor parte de los suelos situados en cumbres y laderas de altura relativa alta (Blanco, 2000a). Esta variable se relaciona, a su vez, con un mayor contenido en arenas, fruto de la deposición, y una menor proporción de limos, lo que se confirma en el factor 6 de la matriz de componentes rotados.

El factor 5 de la matriz de componentes se ha denominado "factor exposición". En este factor se vuelve a saturar tan sólo 1 variable, explicando el 6,9% de la varianza. La microexposición Norte, pese a relacionarse con las zonas de mayor pendiente, presentan un mayor porcentaje de limos, una menor cantidad de arenas y una menor tasa de saturación en bases. La mayor densidad de vegetación que existe en las laderas orientadas al norte favorece el flujo de agua a través del suelo, en detrimento de la escorrentía superficial.

El factor 5 de la matriz de componentes rotados viene a confirmar esta misma relación y, a su vez, complementa el factor 1. En este factor, la microexposición norte junto con las zonas de umbría, pese a presentar las pendientes más elevadas, se relaciona con los suelos más profundos y más evolucionados.

El factor 6 de la matriz de componentes explica, tan sólo, el 6% de la varianza total. Aquí no se satura ninguna variable, aunque 2 de ellas presentan una carga significativa. Se trata de la posición fisiográfica y la capacidad de retención de agua a la capacidad de campo. La relación se establece en el siguiente sentido: a medida que se pasa de las posiciones fisiográficas bajas a las de ladera alta y cumbre, disminuye la capacidad de campo del suelo, lo que se puede explicar por la degradación erosiva que sufren los suelos en estas posiciones.

Esta misma relación fue indicada por Stoops (1997) que observa que las zonas altas de ladera están sujetas a erosión; mientras que, las zonas a pie de ladera reciben dichos materiales, lo que motiva que existan diferencias tanto físicas como químicas en los perfiles situados en ambas posiciones.

Cuadro 2
Resultados del análisis factorial. Matriz de componentes

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
PMP	0,777					-0,338
Arcillas	0,777	-0,269				-0,253
Clasificación	0,715					
Altitud	0,697	-0,310	0,355	-0,380		0,278
Ih	0,689	-0,316	0,356	-0,372		0,293
Profundidad	0,552			0,440	0,262	0,311
V	0,478	0,314		0,410	-0,366	
Pendiente	0,450			0,442	0,420	-0,259
S		0,846	0,302	0,303		
CIC		0,805	0,465			
Solana/umbría	0,440	-0,690	0,272			
Limos		0,650		-0,429	0,461	
Gravas	-0,463	-0,585				
CC	0,360	0,514	0,254			-0,488
Arenas	-0,463	-0,473	0,256	0,427	-0,334	0,276
CO ₃ Ca			-0,773			
Materia orgánica	-0,433		0,630			
PH	0,528		-0,627			
Posición fisiográfica				-0,623		0,462
Microexposición	0,385			0,391	0,596	
Varianza explicada (%)	24,71	18,17	11,97	10,36	6,95	6,02
Varianza acumulada (%)	24,71	42,88	54,85	65,22	72,18	78,20

LEYENDA: PMP: punto de marchitamiento permanente; Ih: índice de humedad de Thornthwaite; V: tasa de saturación en bases; S: sumatorio de las bases cambiables; CIC: capacidad de intercambio catiónico; CC: capacidad de campo; CO₃Ca: carbonato cálcico.

En relación a las propiedades hidrológicas de los suelos de los Montes de Málaga hay que destacar como muy significativas la relación que se establece en el factor 4 de la matriz de componentes rotados, que se ha denominado "Factor retención de agua". En este factor, a medida que aumenta la capacidad de campo aumenta el punto de marchitamiento permanente, lo que es indicativo de unos suelos de porosidad equilibrada. El aumento de la cantidad de agua a la capacidad de campo y al punto de marchitamiento permanente se relaciona, a su vez, lógicamente, con el aumento de las arcillas y el descenso de las arenas y las gravas. Esta relación pone de manifiesto la dependencia que existe

entre las partículas finas del suelo y la capacidad de retención de agua, relación que ha sido estudiada por numerosos autores (Klute, 1986; Bonneau y Souchier, 1987; Porta et alii., 1999).

Cuadro 3
Resultados del análisis factorial. Matriz de componentes rotados

Variabes	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
S	0,944					
CIC	0,914		-0,289			
Solana/umbría	-0,558	0,404			0,349	0,366
V	0,463		0,418	0,324		0,328
Ih		0,913				
Altitud		0,911				
Posición fisiográfica		0,695				-0,519
PH			0,858			
Materia orgánica			-0,792			
CO ₃ Ca	-0,293		0,716			-0,302
CC	0,291			0,806		
PMP		0,342		0,806		
Arcillas	-0,280	0,330	0,283	0,575	0,292	0,310
Gravas	-0,429		-0,459	-0,464		
Microexposición					0,795	
Pendiente					0,786	
Profundidad	0,285		0,310		0,674	
Clasificación		0,314		0,337	0,590	
Limos						-0,916
Arenas				-0,510		0,724
Varianza explicada (%)	14,71	13,72	13,63	12,73	12,29	11,09
Varianza acumulada (%)	14,71	28,44	42,07	54,81	67,10	78,20

LEYENDA: PMP: punto de marchitamiento permanente; Ih: índice de humedad de Thornthwaite; V: tasa de saturación en bases; S: sumatorio de las bases cambiables; CIC: capacidad de intercambio catiónico; CC: capacidad de campo; CO₃Ca: carbonato cálcico.

5. CONCLUSIONES

Del análisis factorial realizado se desprende que los elementos del medio físico con mayor relación con las características y propiedades de los suelos de los Montes de Málaga, ordenados en sentido creciente por su importancia, son los siguientes:

- a) La altitud y el índice de humedad presentan una elevada relación con la evolución de los suelos, la textura, especialmente con la arcilla, y la capacidad de retención de agua en el suelo, especialmente con el punto de marchitamiento permanente. Es decir, a medida que se asciende altitudinalmente, el índice de humedad aumenta lo que se manifiesta, desde el punto de vista edáfico, en una mayor evolución taxonómica y en un incremento de la cantidad de arcillas y de la capacidad de retención de agua en el punto de marchitamiento permanente.
- b) La macroexposición presenta una elevada relación con la tasa de bases cambiables y la capacidad de intercambio catiónico. La correlación se establece en el siguiente sentido: a medida que pasamos de las zonas de macroexposición norte a sur, se incrementa la tasa de bases cambiables y la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.
- c) La posición fisiográfica se relaciona con la profundidad de los suelos y la textura, concretamente los limos y las arenas. En este sentido, el paso de las unidades de cumbre y ladera de altura relativa alta a las unidades de terraza y ladera de altura relativa baja, se manifiesta en un aumento de la profundidad de los suelos, junto con un incremento de las arenas y un decremento de los limos.
- d) La microexposición se relaciona con la profundidad de los suelos y la evolución taxonómica. Es decir, a medida que se pasa de una microexposición sur e indefinida a la norte se incrementa, tanto la evolución taxonómica como la profundidad de los suelos

Estos resultados son de gran interés para la cartografía de suelos porque, conservando homogénea la litología, las variaciones taxonómicas de suelos se pueden delimitar cartográficamente utilizando, bien la altitud o bien el índice de humedad porque ambas presentan una elevada correlación.

Si el objetivo es realizar una cartografía de suelos a nivel de fase (Wambeke y Forbes, 1989; FAO, 1998) sería necesario utilizar otros parámetros: la macroexposición para delimitar cartográficamente las diferencias en la tasa de bases cambiables y la capacidad de intercambio catiónico; y la posición fisiográfica y la microexposición, en el caso de cartografiar los suelos con indicaciones de profundidad y textura.

BIBLIOGRAFÍA

- BARAHONA, E. y LINARES, J. (1979): "Sobre la coexistencia de los procesos edáficos y geomorfológicos". *Anales de Edafología y Agrobiología*. Tomo XXXVIII, 11-12: 2039-2045.

- BLANCO, R. (2000a): *Propuesta metodológica para la aplicación del análisis de las propiedades físicas edáficas a la evaluación del suelo para usos ganaderos*. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga. Edición en CD-ROM.
- BLANCO, R. (2000b): "Importancia del conocimiento de la distribución de los suelos en el territorio para la evaluación de suelos para uso agrario". *Baética*, 22: 9-23.
- BIRKELAND, P.W. (1984): *Soils and geomorphology*. Oxford Univ. Press. New York.
- BONNEAU, M. y SOUCHIER, B. (1987). *Edafología*. Vol.II. Constituyentes y propiedades del suelo. Ed. Masson.
- BRIGGS, D.J. y SHISHIRA, E.K. (1985): "Soil variability in geomorphologically defined survey units in the Albudeite area of Murcia province, Spain". *Catena Suppl.*, 6: 69-84.
- CEOTMA (1998): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. 3ª reimpresión. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- CERDÀ I BOLINCHES, A. (1995): *Factores y variaciones espacio temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Geoforma. Logroño.
- CHURCHILL, R.R. (1982): "Aspect-induced differences in hillslopes processes". *Earth Surface Processes and Landforms*, 7: 171-182.
- DENT, D. y YOUNG, A. (1981): *Soil survey and land evaluation*. G. Allen & Unwin. Boston, 278 pp.
- FAO (1977): *Guía para la descripción de perfiles del suelo*. Roma, 1977.
- FAO (1990): *Guidelines for soil description*. 3rd edition. Roma.
- FAO (1998): *World reference base for soil resources*. FAO, ISRIC, ISSS. Roma.
- FERRE, E.; SENCIALES, J.Mª y CORTÉS, R. (1995): *Cartografía y delimitación de Unidades Geomorfoedáficas del Parque Natural de los Montes de Málaga*. Memoria explicativa.
- HALL, G.H. y OLSON, C.G. (1991): "Predicting variability of soils from landscape models". MAUSBACH, M. y WILDING, L. (ed.): *Spatial variability of soils and landforms*. ASA-CSSA-SSSA, 8: 9-24.
- HARTUNG, S.L. et al. (1991): "Scientific Methodology of the National Cooperative Soil Survey". MAUSBACH, M. y WILDING, L. (ed.): *Spatial variability of soils and landforms*. ASA-CSSA-SSSA, 8: 39-48.
- KLUTE, A. (1986): "Water retention: laboratory methods". PAGE, A.L.; MILLER, R.H. y KEENEY, D.R. (ed.): *Methods of Soil Analysis*. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Agronomy 9. Madison. Wisconsin, USA, 635-662.
- LOZANO, F.J.; MARTÍNEZ, F.J. y ASENSIO, C. (1994): "Unidades geomorfoedáficas de la cuenca del río Gualchos". *III Reunión Sociedad Española de Geomorfología*, Logroño, 303-315.
- MARKEWICH, H.W. y COOPER, S.C. (1991): "One perspective on spatial variability in geologic mapping". MAUSBACH, M. y WILDING, L. (ed.): *Spatial variability of soils and landforms*. ASA-CSSA-SSSA, 25-38.
- ORTEGA, E. et al. (1994): "Caracterización geomorfológica y edáfica de zonas aluviales de la hoja de Alora, Málaga". *III Reunión de Geomorfología*, SEG., Logroño, 327-337.

- PENNOCK, D.J. y ACTON, D.F. (1989): "Hydrological and sedimentological influences on Borroll catenas, Central Saskatchewan". *Soil Science Society American Journal*, 53: 904-910.
- PONS, V.; SORIANO, M.D. y SÁNCHEZ, J. (1993): "Aplicación de las técnicas de análisis estadístico al estudio de una litosecuencia en el valle de La Murta (Valencia)". *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación*. MAPA. SECS. Salamanca, 1103-1114.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. (1999): *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. 2ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- SÁNCHEZ, M.; DELGADO, R.; PÁRRAGA, J. y DELGADO, G. (1996): "Multivariate analysis in the quantitative evaluation of soils for reforestation in the Sierra Nevada (southern Spain)". *Geoderma*, 69, 233-248. Elsevier.
- SANTOS, F.; BARAHONA, E. y IRIARTE, A. (1993): "Relación suelo-paisaje-litología en la vertiente sur de la Sierra del Relumbrar (Albacete)". *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación*. MAPA. SECS. Salamanca, 1147-1154.
- STOOPS, G. (1997): "Application of micromorphological methods to the study of soil sequences in the tropics". *Ponencias 50 Aniversario de la SECS*, Madrid, 45-159.
- SOIL SURVEY STAFF (1993): *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture. Handbook, 18.
- SORIANO, M.D.; CALVO, A.; BOIX, C. y PONS, V. (1996): "Variaciones en las propiedades de los suelos y su agregación en un transecto altitudinal de la provincia de Alicante". *Cuaternario y Geomorfología*, 10 (1-2): 45-58.
- TUDELA, M.L. et al. (1993): "Relaciones geomorfología-suelos en la Sierra del Mardroño y su piedemonte (Murcia)". *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación*. MAPA. SECS. Salamanca, 1192-1200.
- VAN ZUIDAM, R.A. y VAN ZUIDAM-CANCELADO, F.I. (1979): *Terrain analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach*. ITC Textbook of photo-interpretation. Volumen VII. The Netherlands.
- WAMBEKE, A. van y FORBES, T. (1989): *Guidelines for using Soil Taxonomy in the names of soil map Units*. S.M.S.S. Technical Monograph, 10.