

SUELOS DESARROLLADOS EN CONDICIONES SEMIÁRIDAS A PARTIR DE LAS VERITAS DEL VOLCÁN DE BARQUEROS (MURCIA)

Joaquín A. Hernández Bastida, M^a Teresa Fernández Tapia y Nuria Vela de Oro.

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Universidad de Murcia. Campus Universitario de Espinardo. 30071 Espinardo (Murcia).

Abstract: This paper reports the results of macromorphological, analytic and systematic study of four soil profiles developed on veritas of Barqueros (Murcia) under mediterranean semiarid climatic conditions.

The scarce rainfall and the hardness of the parent rock only allow a slight weathering of these soils, leading to A-R soil profiles (Lithic Leptosols, Mollic Leptosol, Haplic Phaeozem), very small depth, with abundant gravel and a release of iron (< 1%) and other amorphous elements limited (< 2%).

Key words: Volcanic soils, weathering, Leptosol, Phaeozem, amorphous, lamproite.

Resumen: Este trabajo recoge el resultado del estudio macromorfológico, analítico y sistemático de cuatro perfiles de suelos desarrollados sobre veritas en Barqueros (Murcia), bajo condiciones climáticas mediterráneas semiáridas.

La baja precipitación unida a la naturaleza dura de la roca hacen que la alteración sea escasa y se formen suelos de tipo A R (Leptosol lítico, Leptosol móllico, Phaeozem háplico), de poco espesor, con abundantes gravas y reducida liberación de hierro (< 1%) y otros elementos amorfos (< 2%).

Palabras clave: Suelos volcánicos, alteración, Leptosol, Phaeozem, amorfos, lamproita.

INTRODUCCIÓN

La presencia de afloramientos volcánicos de rocas con características químicas y mineralógicas muy variadas -andesitas, riolitas, dacitas, lamproitas, basaltos, etc.- en el Sureste de España hacen de ésta una zona particularmente interesante para el estudio del desarrollo de los suelos y de la evolución de los diversos minerales constituyentes de las rocas, razón por la cual han sido ampliamente estudiados bajo diversos aspectos (Alfás y Linares, 1966; Fúster et al., 1967; 1973; López y Rodríguez, 1980;

Venturelli et al., 1980; Hernández et al., 1982; Martínez et al., 1986).

Resulta de gran interés el estudio de los suelos desarrollados a partir de estos materiales volcánicos como aproximación al conocimiento tanto de la dinámica de los constituyentes liberados en la alteración como de las vías de evolución de los minerales integrantes de las rocas en su incorporación al suelo. Este trabajo aborda el estudio de diversos perfiles de suelos desarrollados a partir de uno de los tipos de rocas lamproíticas de la zona, las veritas del afloramiento de Barqueros (Murcia), tanto en

sus aspectos morfológicos, químicos y fisicoquímicos como de génesis y clasificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El volcán de Barqueros, descrito por vez primera por San Miguel de la Cámara en 1951, es un pequeño afloramiento de rocas lamprofíticas situado a poco más de 1 Km. al NNE de la localidad de Barqueros, en la parte central de la provincia de Murcia. Se trata de una pequeña alineación de varios cerros que corre en dirección NNE a lo largo de algo más de 2 Km. y cuya altura máxima se encuentra en el Cabezo del Morrón (398m.). Las veritas que constituyen este enclave aparecen ocupando la parte alta de diversos cerros rodeadas y descansando sobre los materiales miocenos -margas, arenas y yesos- a los que atravesaron durante su erupción ocurrida durante el período Burdigaliense (Fúster. et al., 1967).

Características climáticas y vegetación.

La zona en estudio presenta características mediterráneas semiáridas con una T^a media anual entre 15°C-18°C y una precipitación media anual entre 300-400 mm., de acuerdo con los datos suministrados por los observatorios más próximos -Alcantarilla, Librilla y Alhama- a falta de datos concretos del suelo y que, según las estimaciones realizadas por Alfás et al.(1990), ponen de manifiesto un acusado déficit hídrico para los suelos de esta zona durante más de la mitad del año.

En estas condiciones la vegetación climática corresponde a la asociación *Rhamno lycioides- Quercetum cocciferae*. No obstante en la actualidad aparecen etapas de degradación hacia un tomillar *Paronychio suffruticosae-Sideritidetum murgetanae* y en algunas zonas un mosaico hacia un matorral subnitrófilo en el que predomina *Artemisia herba-alba* y *Artemisia campestris* (asociación *Salsolo vermiculatae-Artemisietum herba-albae*).

Materiales

Se han tomado en este afloramiento cuatro

perfiles de suelos -Tabla 1- en distintas posiciones topográficas, desarrollados a partir de una verita muy oscura, compacta y dura, que aparece al microscopio de polarización en lámina delgada con textura porfídica hipocristalina, matriz constituida por sanidina, dióxido, flogopita, diminutas menas metálicas y vidrio volcánico de color parduzco o rojizo. En ella destacan fenocristales de flogopita y dióxido - los minerales más abundantes- y algunos de olivino y ortopiroxeno. Presenta zonas de alteración puestas de manifiesto por la cristalización de calcita, serpentinización de fenocristales, relleno de poros por un precipitado arcilloso, etc. Desde el punto de vista químico se trata de un basalto ultrapotásico o lamprofita (Fúster et al., 1967) con altos porcentajes de potasio (5-7% en K_2O) y de magnesio (8-10% en MgO).

Métodos

Las determinaciones analíticas realizadas en las muestras de suelos han sido: C orgánico (Anne, 1945, en Duchaufour, 1970); N total (Kjeldhal, en Duchaufour, 1970); Sustancias húmicas (Schnitzer, 1982); pH en H_2O CIK 1M (Peech, 1965) y en NaF 1 M; $CaCO_3$ equivalente (calcímetro de Bernard) y activo (Gehu-Franck, en Duchaufour, 1970); Conductividad eléctrica (Bower y Wilcox, 1965); Capacidad de cambio (Chapman, 1965); Oxidos de Fe libres (Mhera-Jackson, 1960); Elementos amorfos (McKeague y Day, 1966); Hierro total (Omang, 1969; Ingamells, 1970); Análisis granulométrico (tamización fracciones gruesas y sedimentación para las finas); Retención de agua a 33 kPa y 1500 kPa; Microscopía de polarización en lámina delgada de la roca.

RESULTADOS Y DISCUSION

Morfología

En la Tabla 1, que recoge algunos aspectos morfológicos de los perfiles, puede apreciarse que se trata de suelos poco desarrollados, con escasa profundidad, de color muy oscuro y

Tabla 1. Horizontes, profundidad, pendiente, color, clasificación y coordenadas U.T.M. de los perfiles estudiados.

Hor.	Prof. (cm)	Pend. (%)	Color		Clasificación
			Húmedo	Seco	
Perfil I (U.T.M.:30SXG444032)					
A1	0-16	4	10YR2/1	10YR3/2.5	Phaeozem háplico
A2	16-33		10YR2/1	10YR3/2.5	
A3 R	33-48		10YR2/1.5	10YR3/3	
R	+48				
Perfil II (U.T.M.:30SXG445030)					
A	0-12	2	10YR2/1.5	10YR3/2.5	Leptosol móllico
R	+12				
Perfil III (U.T.M.: 30SXG438026)					
A1	0-14	0	10YR3/1.5	10YR5/2	Leptosol móllico
A2	14-22		10YR3/1.5	10YR5/2	
R	+22				
Perfil IV (U.T.M.: 30SXG435026)					
A	0-7	0	10YR3/1.5	10YR5/2	Leptosol lítico
R	+7				

situados en superficies con ligeras o nulas pendientes. Presentan abundantes gravas y piedras de la verita subyacente y que, en el caso de los perfiles III y IV, se encuentran recubiertas de una película de CaCO_3 con diferente espesor según las zonas.

Los horizontes de superficie presentan una estructura grumosa, fina o mediana, moderadamente desarrollada que se hace en profundidad poliédrica subangular muy fina, también moderadamente desarrollada. Todos ellos se encuentran fuertemente enraizados, particularmente los más superficiales, presentando, además, una elevada porosidad. El límite entre los horizontes del suelo es gradual, resultando brusco e irregular en el contacto con la roca.

Resultados analíticos

La presencia de una vegetación estable, natural, de matorral bajo con fuerte enraizamiento que suministra restos orgánicos fácilmente mineralizables junto a la acción estabilizante ejercida tanto por los elementos amorfos liberados en la alteración de la verita como por el

carbonato cálcico cuando está presente, conduce a la sensible acumulación de materia orgánica que se aprecia en estos suelos (Tabla 2). Se trata de una materia orgánica incorporada en profundidad cuando el espesor del perfil lo permite, bien humificada a juzgar por las relaciones C/N, como corresponde a un humus de tipo mull cálcico formado sobre roca con abundante contenido en bases, en condiciones climáticas semiáridas con marcado contraste estacional. En el caso de los perfiles III y IV el humus llega a ser de tipo mull carbonatado.

Si bien el grado de extracción de las sustancias humificadas no resulta muy alto en ninguno de los suelos estudiados (Fig. 1), resulta más elevado en los perfiles I y II debido, por una parte, a la acción ejercida por el carbonato cálcico libre en los perfiles III y IV bloqueando la humificación en una etapa inicial, a la vez que el mayor contenido en elementos amorfos (Fig. 3) en los primeros actúa favoreciendo y acelerando la maduración de los compuestos orgánicos liberados en la biodegradación de la materia orgánica fresca. Se aprecia paralelamente un

Tabla 2. Resultados de Carbono orgánico total, Nitrógeno, Capacidad de cambio catiónico y retención de agua.

Hor.	C gr Kg ⁻¹	N gr Kg ⁻¹	C/N	T cmol ⁽⁺⁾ Kg ⁻¹	H ₂ O gr Kg ⁻¹	
					33kPa	1500kPa
Perfil I						
A1	33.0	2.18	15.1	35.7	336.4	127.3
A2	31.4	2.05	15.3	35.5	318.2	136.1
A3 R	12.9	1.25	10.3	33.5	324.5	134.0
Perfil II						
A	29.4	1.81	15.7	39.2	316.3	147.4
Perfil III						
A1	39.2	3.08	12.7	29.4	286.2	165.2
A2	37.0	3.05	12.1	28.9	292.5	184.5
Perfil IV						
A	26.9	2.47	10.9	28.9	284.3	149.3

mayor grado de humificación en las sustancias húmicas extraídas de los perfiles I y II, que en su totalidad se comportan como compuestos del tipo de los ácidos húmicos, que las correspondientes a los perfiles III y IV, en las que el porcentaje de ácidos húmicos no llega a ser tan importante como en el caso de los primeros (Fig. 1).

La baja precipitación en esta zona sólo permite un escaso drenaje estacional de los constituyentes liberados en la alteración de la verita que conduce al mantenimiento y acumulación de esos iones en el perfil, por lo que se trata de un medio saturado, con abundancia de cationes y que presenta, por tanto, pH en agua de tipo alcalino. En este medio altamente saturado en cationes divalentes -todos ellos presentan una importante cantidad de carbonato cálcico activo (Tabla 3)- procedentes de la alteración de feldspatos, anfíboles y piroxenos de la roca, tiene lugar incluso la formación de carbonato cálcico secundario, que aparece tanto en la tierra fina como recubriendo la roca y las gravas de los perfiles en forma de películas de diferente espesor (Alías y Linares, 1966; Singer, 1978; Hernández et al., 1982, Martínez et al., 1986).

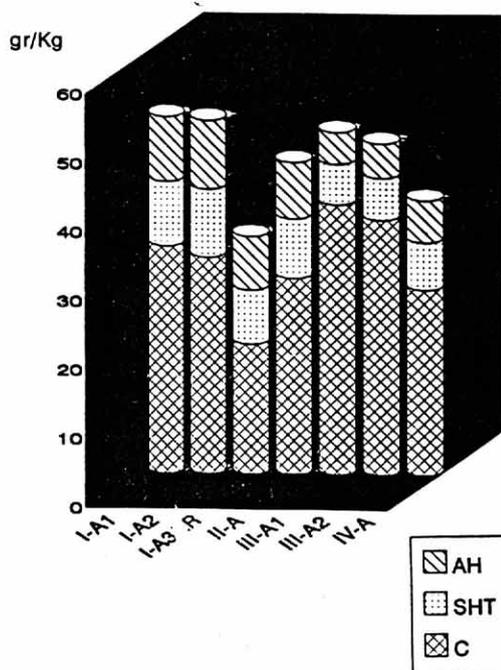


Figura 1. Resultados de carbono orgánico total (C), sustancias húmicas totales extraídas (SHT) y ácidos húmicos (AH).

La situación de cierta pendiente en que se encuentran los perfiles I y II determina un lavado algo más acentuado con lo que apenas llega a manifestarse en ellos la presencia de este constituyente (Tabla 3).

Todos los suelos estudiados tienen una capacidad de cambio catiónico elevada (Tabla 2) ligada tanto al importante contenido en materia orgánica que presentan como a la abundante proporción de arcilla -constituida en gran parte por esmectitas y vermiculita con escaso grado de cristalinidad (Hernández y Fernández, 1997)- así como a la presencia de cierta cantidad de constituyentes amorfos que aparecen en todos los suelos, especialmente en los perfiles I y II (Fig. 3).

Se trata, por otra parte, de suelos con una importante capacidad de retención de agua (Tabla 2) y de granulometría equilibrada (Tabla 4), en la que se manifiesta un cierto predominio de las fracciones limosas, de ahí que presenten, en general, una textura franca y pase a ser franco arcillosa o franco limosa, respectivamente, en algún caso en que el contenido en arcilla (Perfil II) o el de limo (Perfil III) es algo mayor. Los bajos valores de C.E. que presentan ($<1\text{dSm}^{-1}$) se muestran en concordancia con estos datos de textura.

La alteración de los minerales primarios de

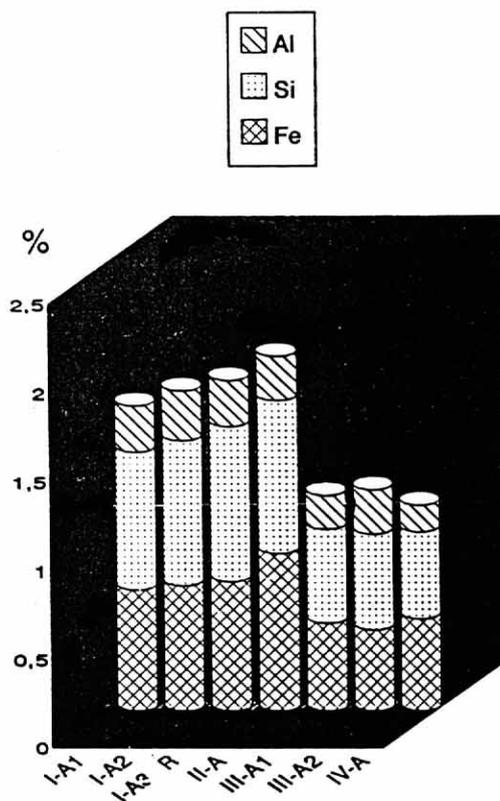


Figura 2. Resultados de la extracción de Fe, Si y Al con citrato-ditionito.

Tabla 3. Resultados de carbonato cálcico equivalente y activo, pH(H₂O, KCl 1M, NaF 1M) conductividad eléctrica del extracto de saturación.

	CaCO ₃ (g kg ⁻¹)		pH			CE (dS m ⁻¹)
	Equiv.	Activo	H ₂ O	KCl	NaF	
Perfil I						
A1	5.0	73.6	7.4	6.5	9.7	0.65
A2	4.8	90.3	7.6	6.5	9.6	0.40
A3 R	5.0	92.3	7.6	6.2	9.6	0.25
Perfil II						
A	2.5	72.9	7.6	6.7	9.9	0.45
Perfil III						
A1	268.6	200.8	7.8	7.0	10.8	0.40
A2	267.2	262.0	7.9	7.1	10.8	0.40
Perfil IV						
A	189.6	161.8	7.8	7.5	10.7	0.55

la roca junto con la liberación de una cierta cantidad de vidrio volcánico presente en la matriz de la misma da lugar a la formación de una pequeña cantidad de sustancias amorfas. Así, la extracción llevada a cabo con citrato y oxalato sobre la tierra fina indica la presencia de una escasa proporción de elementos amorfos que se sitúa en torno al 2 por cien como valor máximo (Fig. 2 y 3), con cualquiera de los dos métodos empleados. De acuerdo con los datos obtenidos se puede apreciar una mayor cantidad de Fe extraído con citrato frente a la sílice y alúmina, que resultan extraídas en mayor medida por el oxalato (Mizota, 1988). Estos resultados parecen indicar una presencia más importante de hierro en forma de óxidos libres, sensibles a la extracción con citrato, que no resultarían disueltos con oxalato y, en mucha menor proporción, ligado a la materia orgánica y a combinaciones silico aluminosas amorfas o mal cristalizadas. Estas últimas se ven afectadas de manera más eficaz en su disolución por el oxalato, tanto por la mayor capacidad de complejación de este anión como por el menor pH a que se realiza la extracción y en el que son más solubles sílice y alúmina. La menor cantidad de amorfos que presentan los perfiles III y IV parece ir ligada a la existencia de

un medio relativamente más confinado que en los otros dos casos en el que la importante cantidad de bases presentes se mantiene constantemente facilitando así en período seco la cristalización de los geles e incluso la formación de CaCO_3 secundario.

Si bien este bajo contenido en amorfos es insuficiente para proporcionar al suelo características ándicas manifiestas, sin embargo lo es para influir en algunas propiedades haciéndolas más acentuadas: pH en NaF (Tabla 3), estabilización y humificación de la materia orgánica, elevada capacidad de cambio o retención de agua.

El contenido en óxidos de Fe libres en el suelo (Tabla 4) es pequeño en relación al contenido total de los mismos en la verita por lo que todos los suelos presentan bajas relaciones Fe libre/Fe total, indicando así una escasa liberación de este constituyente ligado a las redes cristalinas de los minerales primarios y, por tanto, un bajo grado de alteración química como cabía esperar bajo las condiciones climáticas que caracterizan esta zona.

Génesis y clasificación

La influencia, tanto en la alteración como

Tabla 4. Resultados del análisis granulométrico, óxidos de hierro extraídos con citrato y oxalato y su relación con el hierro total.

Hor.	Análisis granulométrico (%)				Fe_2O_3 (%)				
	<2 μ	2-20 μ	20-50 μ	>50 μ	Citrato	Oxalato	Total	Citrato/ Total	Oxalato /Total
Perfil I									
A1	20.7	34.3	12.7	32.2	0.98	0.11	5.43	18.0	2.02
A2	23.5	35.9	9.5	31.1	1.01	0.10	5.56	18.2	1.80
A3 R	23.8	35.7	11.1	29.3	1.04	0.11	5.83	17.8	1.89
Perfil II									
A	28.4	35.8	10.4	25.4	1.27	0.13	5.95	21.3	2.20
Perfil III									
A1	17.2	29.3	20.2	33.1	0.71	0.05	3.53	20.1	1.50
A2	17.7	34.6	22.0	25.7	0.65	0.04	3.55	18.3	1.13
Perfil IV									
A	20.1	24.6	19.7	35.3	0.74	0.06	3.82	19.4	1.68

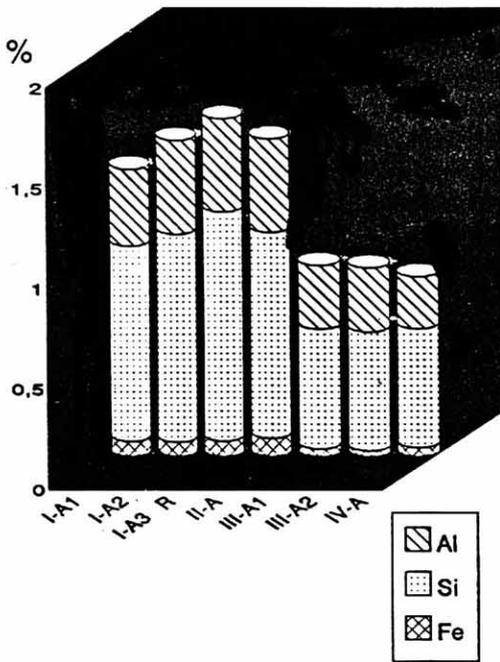


Figura 3. Resultados de la extracción de Fe, Si y Al con oxalato.

en la formación de diversos tipos de minerales en el suelo, de las condiciones climáticas, por una parte, así como las características intrínsecas del material y la intensidad del drenaje, han sido puestas de manifiesto por muy diversos autores (Barshad, 1966; Eswaran y De Coninck, 1971; Singer, 1978; Rodríguez et al., 1980; Martín de Vidales et al., 1982; Sanz et al., 1982; Glasman y Simonson, 1985; Graham y Franco-Vizcaíno, 1992).

Si bien la temperatura media es adecuada para una alteración más intensa del material original, la escasa precipitación limita este proceso manteniéndolo dentro de unos estrechos márgenes. En situaciones topográficas particulares, como son las de ladera, en las que puede resultar algo mayor el aporte de agua por lavado lateral, los perfiles alcanzan algo más de espesor a la vez que son eliminadas del perfil una mayor cantidad de las bases liberadas en la alteración.

Así, la verita, roca dura de grano fino, se altera muy lentamente dando lugar a suelos de poco espesor, de tipo A R, con un horizonte humífero bien desarrollado en general.

La incorporación a la fracción mineral de una importante cantidad de materia orgánica procedente del matorral instalado conduce a la formación de un horizonte organomineral bien desarrollado que en la mayor parte de los perfiles estudiados satisface los requisitos del epipedón móllico (FAO, 1994), siendo el insuficiente espesor lo que determina como ócrico el epipedón del perfil IV.

La aparición de la roca dura a menos de 30 cm. de profundidad lleva a encuadrar los perfiles II, III y IV dentro del grupo de los Leptosoles, tratándose de Leptosoles móllicos los perfiles II y III dada la presencia en los mismos de un epipedón de este tipo mientras que el afloramiento de la roca a menos de 10 cm. de profundidad en el perfil IV lo caracteriza como Leptosol lítico. Es fácil que en algún punto del afloramiento el contenido en CaCO_3 en profundidad alcance el 40 por cien manteniéndose el epipedón móllico, por lo que en este caso se trataría de Leptosoles réndlicos. El perfil I, por su parte, de mayor espesor que los restantes y en el que la roca se encuentra por debajo de los 30 cm. de profundidad, presenta como característico un epipedón móllico sin ningún otro horizonte diagnóstico, por lo que se trataría de un Phaeozem háplico.

La secuencia evolutiva, por tanto, de los suelos desarrollados sobre la verita del Morrón de Barqueros sería del tipo: Leptosol lítico @ Leptosol móllico (Leptosol réndlico) @ Phaeozem háplico.

CONCLUSIONES

De los resultados expuestos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Las condiciones climáticas de la zona, de tipo mediterráneo semiárido, unidas a la naturaleza compacta y dura de la verita de este aflora-

miento hacen que la alteración tanto física como química del material sea escasa, de manera que se forman suelos de perfil A R (Leptosol lítico, Leptosol móllico, Phaeozem háplico), con gran cantidad de gravas, de poco espesor y escaso grado de evolución así como con bajos valores para las relaciones entre los óxidos de Fe libres y totales.

A pesar de la débil alteración, es posible apreciar la presencia en la tierra fina del suelo de una pequeña cantidad de sustancias amorfas que les proporcionan en algunos aspectos ciertas características ándicas muy atenuadas.

El escaso lavado que se produce en estos medios impide la eliminación del perfil de las bases liberadas en la alteración, manteniendo un medio altamente saturado en cationes que permite incluso la formación de CaCO_3 secundario en cantidades importantes en algunos perfiles.

REFERENCIAS

- Alfás, L.J. y Linares, P. (1966): Génesis de pararendsinas sobre algunas rocas volcánicas del campo de Cartagena (Murcia). *V Conferencia de suelos mediterráneos*. SECS, 57-68
- Alfás, L.J., Ortiz, R., Hernández, J., Linares, P., Martínez, J.,
- Alcaraz, F. y Marín, P. (1990). Mapa de suelos escala 1:100.000 de la hoja de Alcantarilla (933). M^o de Agric., Pesca y Alim., 130 pgs. y un mapa.
- Barshad, Y. (1966): The effect of a variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soil from acid and basic rocks. *Proc.Int. Clay Conference.1*, 167-173
- Bower, C.A. y Wilcox, L.V. (1965): Soluble salts. In *Methods of Soil Analysis*. C.A. Black, ed. Am. Soc. of Agron. Wisconsin. 2, 933- 940.
- Chapman, H.D. (1965): Cation exchange capacity. In *Methods of Soil Analysis*. C.A. Black, de. Am. Soc. of Agron. Wisconsin. 2, 891-900.
- Duchaufour, Ph.(1970): Précis de Pédologie. Masson, París,481 pgs.
- Eswaran, H. y De Coninck, F. (1971): Clay mineral formation and transformations in basaltic soils in tropical environments. *Pedology* 21,181-210.
- FAO. (1994): World Reference Base for Soil Resources(Draft). ISSS-ISRIC-FAO. Wageningen, 161 pgs.
- Fúster, J.M^a, Gastesi, P., Sagredo, J. y Feroso, M.L. (1967): Las rocas lamprofíticas del SE de España. *Est. Geol.* 23, 35-69.
- Glasmann, J.R. y Simonson, G.H. (1985): Alteration of basalt in soils of western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 262-273.
- Graham, R.C. y Franco-Vizcaino, E. (1992): Soils on igneous and metavolcanic rocks in the Sonora desert of Baja California, Mexico. *Geoderma* 54, 1-21.
- Hernández, J.A. y Fernández, M.T (1997): Mineralogía de las fracciones arena y arcilla de suelos desarrollados a partir de veritas bajo condiciones áridas en Barqueros (Murcia).XVII Reunión de la SEM. Almagro. Ciudad Real.
- Hernández, J., Fernández, M^a.T. y Alcaraz, F. (1982): Estudio de los suelos sobre jumillitas de la Sierra de las Cabras (Albacete). I Características generales. *Anales Edaf. y Agrob.* 41, 1671-1685.
- Ingamells, C.O. (1970): Lithium metaborate flux in silicate analysis. *An. Chem. Acta.* 52, 323-334.
- López Ruiz, J. y Rodríguez Badiola, G.(1980): La región volcánica neógena del Sureste de España. *Est. Geol.* 36, 5-63.
- Martín de Vidales, J.L., Sanz, J., Casas, J., Rodríguez, J. y Guerra, A. (1982): Procesos de alteración, génesis y estabilidad mineral de suelos volcánicos (Volcán de Piedrabuena, Ciudad Real).II. Caracteres físicos y físico-químicos. *Anales de Edaf. y Agrob.* 41, 1221-1233.
- Martínez, J., Linares, P. y Alfás, L.J. (1986): Mineralogía de arcillas de suelos formados a partir de fortunitas (Fortuna, Murcia). *Bol. Soc. Esp. Min.* 9,97-106.

- Mehra, O.P. y Jackson, M.L. (1960): Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals 7th Conference*. Londres, 317-327.
- Mizota, C., Kawasaki, Y. y Wakatsuki, T. (1988): Clay mineralogy and chemistry of seven pedons formed in volcanic ash, Tanzania. *Geoderma* **43**, 131-141.
- McKeague, J.A. y Day, J.H. (1966): Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. of Soil Sc.* **46**, 13-22
- Omang, S.H. (1969): A rapid fusion method for the decomposition and comprehensive analysis of silicates by atomic absorption spectrophotometry. *An. Chem. Acta.* **46**, 225-230.
- Peech, M. (1965): Hidrogen-ion activity. In *Methods of Soil Analysis*. C.A. Black, ed. Am.Soc. of Agron. Wisconsin, **2**, 914-916.
- Rodríguez, A., Fedoroff, N., Tejedor, M.L. y Fernández-Caldas, E. (1980): Observaciones preliminares sobre la alteración en los suelos fersialíticos sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). *Anal. Edaf. y Agrob.* **39**, 1923-1940.
- San Miguel de la Cámara, M., Almela, A. y Fúster Casas, J.M. (1951): Sobre un volcán de verita recientemente descubierto en el mioceno de Barqueros. *Est. Geol.* **7**, 411-429.
- Sanz, J., Martín de Vidales, J.L., Casas, J. y Guerra, A. (1982): Procesos de alteración, génesis y estabilidad mineral de suelos volcánicos. (Volcán de Piedrabuena, Ciudad Real). I. Factores formadores y descripción de perfiles. *An. Edaf. y Agrob.* **41**, 801-814.
- Schnitzer, M. (1982): Organic matter characterization. In *Methods of Soil Analysis*. 2ª Ed. A.L. Page, ed. Am. Soc. of Agron. Wisconsin, **2**, 581-594.
- Singer, A. (1978): The nature of basalt weathering in Israel. *Soil Science* **125**, 217-225.
- Singer, A. y Navrot, J. (1977): Clay formation from basic volcanic rocks in a humid mediterranean climate. *Soil Sc. Soc. of Am. J.* **41**, 645-650.
- Venturelli, G., Capedri, S., Battistini, G., Crawford, A., Kogarko, L.N. y Celestini, S. (1984): The ultrapotassic rocks from southeastern Spain. *Lithos*, **17**, 37-54