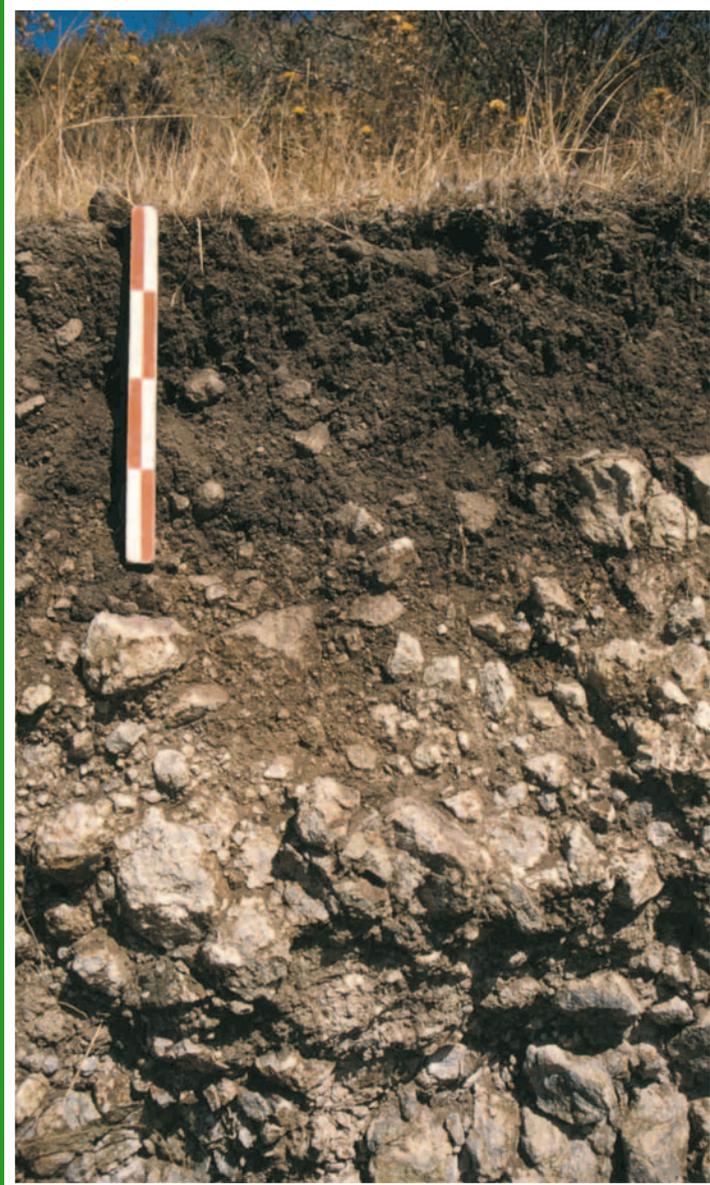




EDAFOLOGIA



**REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
LA CIENCIA DEL SUELO**

Vol. 8

Periodicidad Cuatrimestral

Dep. Legal: C-748/2000

ISSN 1135-6863

EDAFOLOGÍA



Publicada por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Impreso en: Grafisant, S.L. - Santiago de Compostela

EDAFOLOGÍA

Revista de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo
Dpto. de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología
Universidad de Santiago de Compostela

Director: Felipe Macías Vázquez
Secretaria: M. Carmen Monterroso Martínez

Comité de Redacción

Gonzalo Almendros Martín. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid
María Arias Delgado. Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Madrid
Antonio Bello Pérez. Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Madrid
Rosa Calvo de Anta. Universidad de Santiago de Compostela.
Tarsy Carballas Fernández. CSIC. Santiago de Compostela.
Norma E. Cruz Calderón. Universidad Nacional Autónoma de Méjico.
Francisco Díaz-Fierros Viqueira. Universidad de Santiago
José A. Díaz López. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid.
Carlos Dorronsoro Fernández. Universidad de Granada.
Rafael Espejo Serrano. Universidad Politécnica de Madrid.
M^a Teresa Felipó Oriol. Universidad de Barcelona.
Cármen Fernández Bermejo. Univ. Politécnica de Madrid.
José M^a Gascó Montes. Univ. Politécnica de Madrid.
Pedro González Fernández. Centro de Invest. y Desarr. Agrario. Córdoba.
Juana González Parra. Univ. Complutense de Madrid.
José M. Hernández Moreno. Universidad de la Laguna.
M^a Isabel Hernando Massanet. Univ. Complutense de Madrid.
Florencio Ingelmo Sánchez. Instituto Valenciano de Invest. Agrarias. Valencia.
Jaime Iñiguez Herrero. Universidad de Navarra.
Raimundo Jiménez Ballesta. Universidad Autónoma de Madrid.
Felipe Macías Vázquez. Universidad de Santiago.
José M. Murillo Carpio. Instituto de Recursos Naturales. Sevilla.
Alfonso G. Navas Sánchez. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid.
Roque Ortiz Silla. Universidad de Murcia.
Jesús Pastor Piñeiro. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid.
Jaime Porta Casanellas. Universidad de Lérida.
Diego de la Rosa Acosta. CSIC. Sevilla.
Juan Sánchez Díaz. Univ. de Valencia.
Juan Carlos Simón Benito. Univ. de Alcalá de Henares.
José Torrent Castellet. Univ. de Córdoba.
Arfred Zinck. International Institute for Aerospace Survey. Wageningen.
George Stoops. Geologisch Institute. Ghent. Belgium.
Peter Buurman. Dept of Soil Science and Geology. Wageningen.
Pablo Vidal Torrado. Dpto. de Solos. Escola Superior Agricultura. Piracicaba. Brazil

Foto Portada: Phaeozem háplico. Cabezo Ventura. Campo de Cartagena (Murcia). M.J. Delgado Iniesta.

INDICE

	Pag.
M.J. DELGADO INIESTA, R. ORTIZ SILLA y M. T. FERNÁNDEZ TAPIA. Caracterización y génesis de Phaeozems desarrollados a partir de rocas volcánicas en ambiente mediterráneo semiárido	1
I. HERNANDO MASSANET, J. HERNANDO COSTA, A. BARBA CARRETERO y C. BARBA SOLANA. Vermiculita en suelos desarrollados sobre gneis	9
A. PIRES DA SILVA, S. IMHOFF, N.F.B. GIAROLA y C.A. TORMENA. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos en el centro de Santa Fe.....	21
M.T. DE LA CRUZ CARAVACA, J. BALAGUER SIQUIER y J. HERNANDO COSTA. Suelos desarrollados sobre arenas residuales y arenas eólicas en Mallorca	35
X. ÚBEDA. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal	41
A.M. MONTIEL TORRES y R. BLANCO SEPÚLVEDA. Métodos de optimización de muestreo en los estudios de las propiedades físicas del suelo	51
M.J. FERNÁNDEZ SANJURJO, G. CORTI, F.C. UGOLINI. Suelos policíclicos en el macizo gabroico de Monte Castelo (Galicia, España): Estudio de su evolución edáfica ...	61
M. PASTOR, J. CASTRO, M. D. HUMANES y J. MUÑOZ. Sistemas de manejo del suelo en Olivar de Andalucía. <i>Conferencia del V Congreso Nacional de Suelos</i>	75
Acta de la Asamblea General de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo	99
XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo	103
Instrucciones a los autores	105

CARACTERIZACIÓN Y GÉNESIS DE PHAEOZEMS DESARROLLADOS A PARTIR DE ROCAS VOLCÁNICAS EN AMBIENTE MEDITERRÁNEO SEMIÁRIDO

M.J. DELGADO INIESTA, R. ORTIZ SILLA y M. T. FERNÁNDEZ TAPIA

Dpto. Química Agrícola, Geología y Edafología. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo.30.071. Murcia.

Abstract. This paper reports the results of macromorphological, analytical and typologic study of six soils profiles developed on different volcanic rocks under mediterranean semiarid climatic conditions. In spite of the low precipitations and the parent rock moderate alteration, soils with a mollic epipedon have been formed. These soils have been classified as Phaeozems (FAO-ISRIC-ISSS 1998). On the other hand, we stand out the necessity to include the group of the Calcaric Phaeozems in this classifications which was eliminated some time ago and, however, they are soils appearing with a certain frequency in the peninsular southeast.

Key words: Phaeozems, mollic epipedon, volcanic soils.

Resumen: En este trabajo se recoge el resultado del estudio macromorfológico, analítico y tipológico de seis perfiles de suelos desarrollados a partir de diferentes rocas volcánicas bajo condiciones climáticas mediterráneas semiáridas. Pese a las bajas precipitaciones y a la moderada alteración de la roca madre se han formado suelos que presentan un epipedón mólico y que han sido clasificados como Phaeozems (FAO-ISRIC-ISSS 1998). Por otra parte, resaltamos la necesidad de incluir en dicha clasificación el grupo de los Phaeozems calcáricos, que fueron en su momento eliminados de ésta, y sin embargo son suelos que aparecen con cierta frecuencia en el sureste peninsular.

Palabras clave: Phaeozems, epipedón mólico, suelos volcánicos.

INTRODUCCIÓN

Siguiendo con el estudio de suelos desarrollados sobre materiales volcánicos en el sureste español (Fernández et al., 1994, Ortiz et al., 1993, 1997, Delgado, 1998), se aborda en esta ocasión la caracterización y génesis de Phaeozems formados sobre distintos tipos de rocas volcánicas en el litoral mediterráneo. La presencia de suelos con horizonte mólico es muy escasa en zonas donde predominan unas condiciones climáticas semiáridas como las del SE de España, con una precipitación

media anual que no supera los 350 mm. Sin embargo, la instalación de una vegetación de matorral bajo constituida por tomillares, con un fuerte enraizamiento que suministra gran cantidad de restos orgánicos fácilmente mineralizables, proporciona una buena humificación al suelo haciendo posible el desarrollo de un epipedón mólico.

La zona de estudio presenta una temperatura media anual entre los 18-19°C y una precipitación media anual que oscila entre 210 y 350 mm. Según las estimaciones realizadas, existe un acusado déficit hídrico para los sue-

los durante más de la mitad del año, lo que define un régimen de humedad del suelo árido y un régimen de temperatura térmico (USDA, 1998). En estas condiciones la vegetación climácica se corresponde con las asociaciones *Ziziphietum loti*, *Periploco-Gymnosporietum*, *Chamaeropo-Rhamnetum lycioidis*, dependiendo del lugar en donde se tomaron los perfiles. No obstante, actualmente la vegetación está constituida por etapas de degradación como son los tomillares representados por las asociaciones *Teucrio lanigeri-Sideritidetum ibanyezii*, *Teucrio charidemi-Lavanduletum multifidae* o *Sideritido marmnorensis-Thymetum hyemalidis* (Delgado 1998).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se han elegido seis perfiles ubicados en distintos

afloramientos volcánicos en las provincias de Murcia y Almería. El perfil 1 fue tomado en Vera (Almería) sobre rocas lamprofíticas, en concreto sobre veritas. Sobre el mismo tipo de rocas se tomó el perfil 6, en un afloramiento volcánico situado en la localidad de Aljorra (Murcia). El perfil 2 fue tomado sobre rocas riódacíticas de Carboneras (Almería), el perfil 3 en Mesa de Roldán (Almería) sobre andesitas piroxénicas, el perfil 4 en Cabo de Gata sobre dacitas y por último, el perfil 5 fue tomado en Cabezo Ventura (Murcia), de origen traquítico. En la figura 1 se puede observar la situación geográfica de los perfiles estudiados.

Para el estudio de los perfiles se han realizado las siguientes determinaciones analíticas: Carbono orgánico, por el método de Anne, modificado por Duchaufort (1970); Nitrógeno total, por el método de Kjeldahl (Duchaufort, 1970); Carbonato cálcico equi-

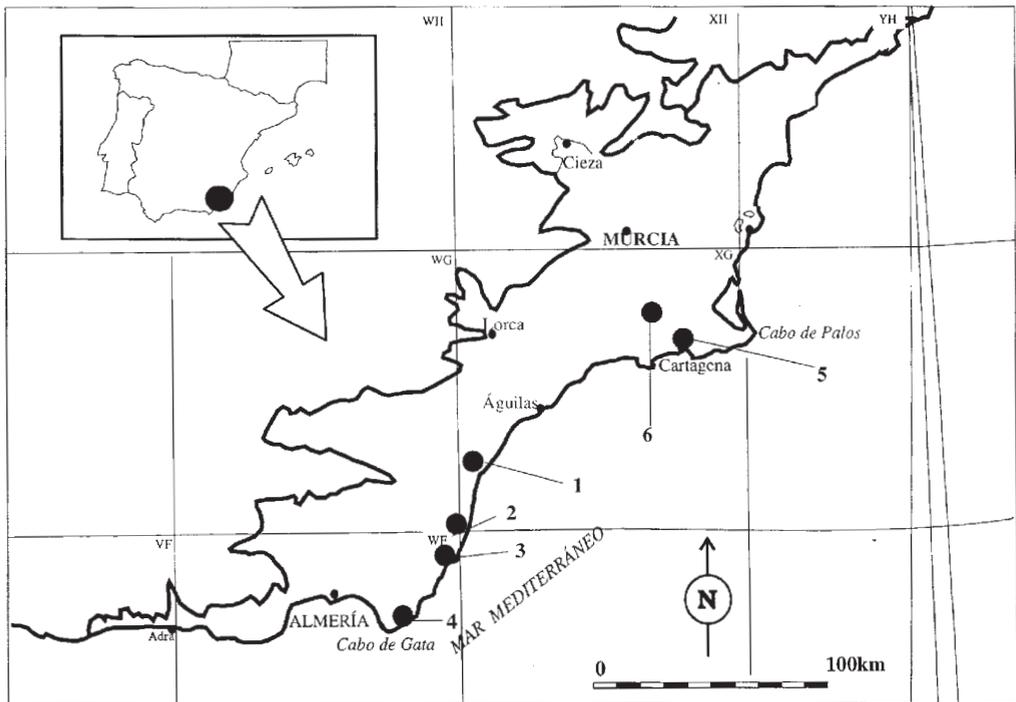


FIGURA 1. Situación geográfica de los perfiles estudiados

valente, por el método del calcímetro de Bernard; Carbonato cálcico activo (Gehu-Franck, en Duchaufour, 1970); pH, en suspensión acuosa y en KCl 1M (Peech, 1965); Capacidad de intercambio catiónico (Chapman, 1969); óxidos de Fe libres (Mhera y Jackson, 1960); hierro total (Omang, 1969; Ingamells, 1970); Elementos amorfos (McKeague y Day, 1966); Conductividad eléctrica del extracto de saturación (Bower y Wilcox, 1965); análisis granulométrico, por dispersión y extracción con pipeta de Robinson, previa eliminación de la materia orgánica, combinado con tamización.

TABLA 1. Horizontes, profundidad, color y coordenadas U.M.T. d los perfiles estudiados

Hor.	Prof. (cm)	Color		Coordenadas (U.T.M.)
		Húmedo	Seco	
Perfil 1				
A	0-22	7.5YR3/2	5YR5/2	30SXG004182
AC	22-41	7.5YR3/4	7.5YR4.5/3	
C/R	41-57	10YR4/4	10YR7/2	
R	+57			
Perfil 2				
A	0-37	7.5YR2.5/2	7.5YR3/2	30SWF943938
R	+37			
Perfil 3				
A	0-19	7.5YR2.5/2	7.5YR3/3	30SWF972893
B/R	19-33	7.5YR3/4	7.5YR4/4	
R	+33			
Perfil 4				
A	0-15	7.5YR3/2	7.5YR4/4	30SWF729646
AC	15-29	7.5YR4/4	7.5YR5/4	
C	+29	10YR5/4	10YR5/4	
Perfil 5				
A	0-31	7.5YR2.5/3	7.5YR5/3	30SXG825683
A/R	31-45	10YR3/2	10YR5/3	
R	+45			
Perfil 6				
A1	0-8	5YR2/2	5YR4/3	30SXG678735
A2	8-29	5YR2/2	5YR4/4	
A/R	29-40	5YR3/2	5YR4/4	
R	+40			

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología

En la tabla 1, que recoge algunos aspectos morfológicos de los perfiles, puede apreciarse que se trata de suelos con un perfil de tipo A-AC-C/R, A-R o A-B/R.

Los horizontes A de los perfiles 1, 3 y 6 presentan una estructura grumosa media bien desarrollada, mientras que el resto de los perfiles poseen una estructura poliédrica subangular media igualmente bien desarrollada. En los perfiles 2, 5 y 6 bajo este horizonte A se ha localizado un horizonte transicional A/R y

bajo él, la roca madre. Los perfiles 1 y 4 se presentan un horizonte AC con estructura grumosa y poliédrica subangular, respectivamente, y sólo el perfil 3 tiene bajo el horizonte superficial un horizonte B, algo mezclado con la roca madre, de estructura poliédrica subangular bien desarrollada. En el perfil 4 se ha podido diferenciar un horizonte C, de estructura masiva. Todos los horizontes presentan una gran cantidad de raíces, particularmente los más superficiales, teniendo además una elevada porosidad. El límite entre horizontes es gradual, resultando brusco e irregular en el contacto con la roca.

TABLA 2. Análisis generales de los perfiles estudiados.

Hor.	C gKg ⁻¹	N gKg ⁻¹	C/N	T Cmol(+) Kg ⁻¹	CaCO ₃ gKg ⁻¹		pH		CE dSm ⁻¹
					Equiv	Activo	H ₂ O	KCl	
Perfil 1									
A	26.0	2.51	10.4	29.4	80	37.9	7.6	6.9	0.41
AC	25.6	2.60	9.8	23.7	180	98.0	7.9	6.8	0.50
C/R	13.7	1.64	8.5	17.1	210	180.7	7.8	6.7	0.41
Perfil 2									
A	18.8	1.3	14.5	16.9	0	9.8	7.8	6.8	0.41
Perfil 3									
A	30.3	2.31	13.4	29.6	30	24.5	7.8	7.1	1.34
B/R	18.8	1.90	10.0	33.3	40	36.7	7.9	7.1	0.84
Perfil 4									
A	11.5	0.93	12.4	28.3	20	13.5	8.1	7.1	1.55
AC	5.3	0.77	6.9	28.2	50	28.8	8.3	7.2	0.84
C	4.8	0.56	4.2	27.2	40	24.5	8.5	7.2	0.68
Perfil 5									
A	24.6	1.58	15.6	27.8	0	46.0	8.0	6.1	0.51
A/R	16.9	1.13	15.0	42.1	0	28.2	8.2	6.4	0.45
Perfil 6									
A1	9.0	1.33	6.7	17.3	77	53.1	8.3	7.2	0.35
A2	11.5	1.44	7.9	21.1	27	19.1	8.2	7.1	0.33
A/R	7.8	1.95	6.3	22.5	75	74.9	8.1	7.1	0.45

Resultados analíticos

El contenido en carbono orgánico (tabla 2) es relativamente alto en estos suelos, sobre todo en los horizontes superficiales. Se trata de una materia orgánica bien humificada según se deduce de los valores de la relación C/N, con la formación de un humus mull cálcico (Duchaufour, 1970) en los perfiles desprovistos de carbonato cálcico y de tipo mull calizo en los que poseen dicho constituyente. Esta acumulación de materia orgánica se debe a la existencia de una cobertura vegetal de matorral bajo, comentada anteriormente, y a la acción estabilizadora de los materiales amorfos liberados en la alteración de las rocas volcánicas. Asimismo, la presencia de

carbonato cálcico en gran parte de estos suelos también ha podido influir en el mismo sentido.

Los perfiles presentan carbonato cálcico en todos sus horizontes, excepto en los perfiles 2 y 5 que se encuentran descarbonatados debido a su situación de mayor pendiente, lo que determina un lavado algo más intenso, como puede apreciarse en los valores de carbonato cálcico equivalente y activo (tabla 2). Estos carbonatos tienen su origen en el calcio liberado por la alteración de los minerales procedentes de las rocas (feldespatos, anfíboles, piroxenos) que se combina con el CO₂ atmosférico o el procedente de la respiración radicular. En el caso del perfil 6 también han

TABLA 3. Resultados del análisis granulométrico.

HOR.	<2μ	2-20μ	20-50μ	>50μ
Perfil 1				
A	22.5	22.3	14.5	40.7
AC	12.6	28.6	26.6	32.2
C/R	7.6	27.8	51.1	13.5
Perfil 2				
A	16.9	11.1	22.2	49.8
Perfil 3				
A	25.3	16.6	34.9	23.2
B/R	39.5	29.8	3.5	27.2
Perfil 4				
A	7.7	28.5	5.3	58.5
AC	25.3	2.0	4.3	68.4
C	13.7	14.9	5.0	66.4
Perfil 5				
A	27.5	21.5	8.7	42.3
A/R	35.4	26.5	4.6	33.5
Perfil 6				
A1	3.7	32.7	14.6	49.0
A2	8.4	29.0	19.7	42.9
A/R	4.0	29.7	32.4	33.9

podido contribuir los aportes recibidos de los relieves calizos próximos, lo que explicaría el mayor contenido en el horizonte superficial.

El pH medido en agua es básico en todos los perfiles ya que se trata de un medio saturado en cationes divalentes procedentes de los constituyentes que se van liberando de la roca madre, y que las escasas precipitaciones permiten su mantenimiento en el suelo. La capacidad de cambio, relativamente alta en todos los perfiles, está ligada al contenido en materia orgánica así como a la proporción de arcilla que presentan (tabla 3). Los bajos valores de C.E. que se han determinado (<1

dsm⁻¹) ponen de manifiesto que son suelos libres de sales y que presentan, en general, una granulometría equilibrada (tabla 3).

En los perfiles 1, 3 y 4 en los que se sospechaba la presencia de un horizonte B, se realizaron los análisis de óxidos de hierro, aluminio y silicio (Tabla 4). Dichos constituyentes en los perfiles 1 y 5 disminuyen progresivamente con la profundidad, sólo en el caso del perfil 3 hay un ligero incremento en el denominado horizonte B/R; el incremento de óxidos de hierro en este horizonte indica un mayor grado de alteración química confiéndole un color pardo oscuro característico.

TABLA 4. Óxidos de hierro, aluminio y silicio en los perfiles 1, 3 y 4.

Perfil	Hor	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /	SiO ₂ /	Al ₂ O ₃ /
		%	%	%	%	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
					x100			
					%			
P-1	A	9.13	11.17	50.73	1.52	16.48	7.72	1.92
	AC	7.65	10.11	38.07	0.56	7.32	6.40	2.07
	C/R	6.22	6.06	29.14	0.19	3.05	8.17	1.53
P-3	A	6.96	14.31	41.21	1.43	20.54	4.96	3.22
	B/R	8.92	15.58	48.21	1.16	13.00	5.25	2.74
P-4	A	5.61	15.24	63.37	0.63	11.25	7.06	4.26
	AC	4.94	15.35	59.64	0.58	11.83	6.60	4.91
	C	3.82	14.01	62.67	0.42	11.05	7.60	5.78

Génesis y clasificación

Las observaciones macromorfológicas y los resultados analíticos comentados anteriormente nos permiten destacar la humificación como el proceso de edafogénesis más generalizado en estos suelos. En todos los perfiles estudiados una importante cantidad de materia orgánica procedente del matorral instalado sobre ellos se incorpora a la fracción mineral, conduciendo a la formación de horizontes A bien desarrollados y que satisfacen los requisitos del epipedón mólico.

El proceso de empardecimiento sólo ha tenido lugar en el perfil 3 y ha conducido a la formación de un incipiente horizonte B.

El origen de los carbonatos presentes en parte de los suelos estudiados no procede directamente de la roca madre, ya que estos se han formado a partir de rocas ígneas silicatadas que no poseen entre sus constituyentes calcita, aunque sí tienen minerales portadores de calcio, como piroxenos y plagioclasas. Debido a la meteorización de estas rocas se libera Ca⁺²; este elemento no se lava con facilidad a causa de las bajas precipitaciones, combinándose con el CO₂, ya que la presión parcial de este elemento es más alta que en la atmósfera, debido a la respiración radicular, a la oxidación de la materia orgánica y a la actividad microbiana, produciéndose su disolución en agua con formación de H₂CO₃. Este

ácido se combina con el Ca^{+2} liberado, formándose carbonato cálcico secundario o edafogenético (Doner y Lynn, 1989, Ortiz et al. 1989).

La presencia del horizonte mólico y el encontrarse la roca madre por debajo de los 30 cm de profundidad y no tener estos perfiles ningún otro horizonte diagnóstico conduce a la inclusión de estos suelos dentro del grupo de los Phaeozems háplicos (FAO-ISRIC-ISSS, 1998)

Hay que señalar que algunos de los suelos estudiados son calcáreos entre los 20 y 50 cm de profundidad a partir de la superficie (Tabla 2), sin llegar en modo alguno a formar un horizonte diagnóstico de tipo cálcico, en cuyo caso y según la clasificación de FAO-UNESCO (1988) se denominarían Phaeozems calcáricos. Este grupo fue eliminado de la versión de FAO (1994) y de la nueva versión de FAO (1998) por considerar a los Phaeozems "típicos de zonas en que abunda el lavado". Creemos que este grupo debería de ser nuevamente incluido en la clasificación puesto que no es cierto que estos suelos sólo aparezcan en sitios de abundante lavado, pues en todo el S.E peninsular, donde las precipitaciones son muy escasas y los carbonatos llegan a acumularse, también están presentes.

Según U.S.D.A. (1998) estos suelos con epipedón mólico pertenecen al orden Mollisol. Los Mollisoles del área estudiada pertenecen al suborden Xerolls, caracterizados porque tienen un régimen arídico que tiende a xérico. En concreto, los suelos estudiados pertenecen al gran grupo de los Haploxerolls, y los diferentes suelos se han clasificado dentro de los subgrupos Haploxerolls líticos, cuando tienen un contacto lítico dentro de los 50 cm a partir de la superficie (perfiles 2, 3, 5 y 6), y Haploxerolls arídicos en los casos de perfiles que no tiene otra característica más que un régimen de humedad arídico (perfiles 1 y 4).

CONCLUSIONES

A pesar de la moderada alteración de la roca madre de todos los suelos estudiados, debido a las escasas precipitaciones en la zona de estudio, se ha podido observar en estos suelos un horizonte superficial que cumple las características del epipedón mólico e incluso en algún perfil se ha podido detectar la presencia de un horizonte B cámbico, hallándose un incremento de óxidos de hierro en este horizonte lo que indica un mayor grado de alteración química de este suelo que le confiere un color pardo oscuro característico.

El escaso lavado que se produce en estos suelos 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 apreciables en algunos perfiles.

Se considera necesario la inclusión en la clasificación de FAO del grupo de los Phaeozems calcáricos. Este grupo debería de ser nuevamente incluido ya que no es cierto que estos suelos sólo aparezcan en sitios de abundante lavado, pues en el SE peninsular, caracterizado por baja pluviometría y temperaturas medias elevadas los carbonatos liberados por la alteración de rocas silicatadas de origen volcánico permanecen en gran parte en los suelos desarrollados a partir de estas rocas.

REFERENCIAS

- Bower, C.A. y Wilcox, L. V. (1965). *Soluble salts. Methods of Soil Analysis*. In C. A. Black (Ed). *American Soc. Agronomy, Inc.*, 2: 993-940. Madison
- Chapman, H.D. (1969). Cation exchange capacity. *Methods of Soil Analysis*. In C.A. Black (Ed.). *American Soc. Agronomy, Inc.*, 1: 891-900, Madison.
- Delgado, M.J. (1998). Suelos y Vegetación en afloramientos volcánicos neógenos de la

- zona litoral del Sureste peninsular. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia. 390 p.
- Doner, E.H. y Lynn, W.C. (1989). Carbonate, halide, sulfate and sulfide minerals. In J.B. Dixon y S.B. Weed. (ed.). *Minerals in soil environments*. 1: 279-330. Madison, Wisconsin.
- Duchaufour, Ph. (1970). *Précis de Pedologie*. In Masson y Cie (Ed.). París.
- FAO (1994). *World Reference Base for Soil Resources (Draft)*. ISSS-ISRIC-FAO. Wageningen/Roma.
- FAO-UNESCO (1988). *Soil Map Of World, Revised Legend*. World Soil Resources Report 60, FAO. Roma.
- FAO-ISRIC-ISSS (1998). World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84.FAO. Rome, 88 p.
- Fernández, M. T., Delgado, M. J., Faz, A. y Ortiz R. (1994). Mineralogía de algunos suelos fersialíticos del S.E de España. *Bol. Sociedad Española de Mineralogía*, 17: 209-215.
- Ingamells, C.O. (1970). Lithium metaborate flux in silicate analysis. *Analytical Chemical Acta*, 52: 323-334.
- McKeague, J.A. y Day, J. H. (1966). Ditionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. of Soil Sc.* 46:13-22.
- Mehra, O.P. y Jackson, M.L. (1960). Iron oxide removal from soil and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay Mineralogy Bulletin*, 7: 317-327.
- Omang, S. H. (1969). A rapid fusion method for the decomposition and comprehensive analysis of silicates by atomic absorption spectrophotometry. *Analytical Chemical Acta*, 46: 225-230.
- Ortiz R. , Fernández, M.T. y Latorre, M. (1989). Mineralogía de suelos desarrollados a partir de anfibolitas de la Sierra de la Almenara (Murcia). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 12: 141-150.
- Ortiz, R., Faz, A., Fernández, M.T. y Delgado, M. J. (1993). Typological characterization and genesis of red soil with an argillic horizon in semiarid mediterranean area (Spain). *2nd. International Meeting on Red Mediterranean Soils*, 1: 97-99. (Turquía).
- Ortiz, R, Fernández, M. T. y Delgado, M. J. (1997). Mineralogía de suelos desarrollados sobre riolitas en el Sureste español (Mazarrón, Murcia). *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 2: 241-251.
- Peech. (1965). *Hydrogen-ion activity. Methods of Soil Analysis*. In C.A. Black (Ed.) Ammer. Soc. Agronomy, Inc., 2: 914-916. Madison, Wisconsin.
- Soil Sourvey Staff (1996). *Key to Soil Taxonomy*, 7th edition. SMSS technical monograph Pocahontas Press, Inc. Blacksburg.
- USDA, (1998). *Keys to Soil Taxonomy*. Eighth edition. U.S. Governamnet Printing Office.Washington, D.C. 326 p

VERMICULITA EN SUELOS DESARROLLADOS SOBRE GNEIS

I. HERNANDO MASSANET*, J. HERNANDO COSTA*, A. BARBA CARRETERO* y C. BARBA SOLANA**.

* Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria. Plaza Ramón y Cajal s/n. 28040 Madrid.

** Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

Abstract. The chemical composition of vermiculites in parent material and in the clay size fraction of soils are studied by Analytical Transmission Electron Microscopy (T.E.M.). The soils are: dystric, eutric, umbric and mollic Leptosols; eutric and dystric Cambisols; and haplic Phaeozems (FAO, 1998). The parent material is a gland gneis. The gneis vermiculite is dioctahedral with hydroxy aluminium inter-layered. The vermiculites of the clay size fraction into the soils horizons are di-trioctahedral and in some cases are the same to vermiculite of the gneis.

In temperate climate and lightly acid environments, in Lozoya river Valley (Guadarrama Ridge. Madrid), the di-trioctahedral vermiculite of the soils is formed by biotite weathering or from chlorite by the following sequence: Biotite Chlorite Vermiculite.

Key words: Vermiculite, gneiss, soils, T.E.M.

Resumen. Se establece la composición química de vermiculitas mediante microscopía electrónica de transmisión (M.E.T.), en la fracción arcilla de suelos desarrollados sobre gneis glandular en distintas vertientes del Valle del río Lozoya, en la Sierra de Guadarrama: puerto de Morcuera, puerto de Navafría y Cerro de la Cruz. Los suelos son Leptosoles dísticos, eútricos, úmbricos y móllicos; Cambisoles eútricos y dísticos y Phaeozems háplicos (FAO, 1998). Las vermiculitas del gneis son dioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares (identificadas en gneis reducido a tamaño inferior a 2 μm), mientras que las vermiculitas de la fracción arcilla de los suelos son, predominantemente di-trioctaédricas.

En climas templados y medios ligeramente ácidos, la biotita del suelo se transforma en vermiculita di-trioctaédrica por pérdida progresiva de potasio interlaminar y de magnesio de la capa octaédrica; además, se produce una oxidación del hierro ferroso, con destrucción de dicha capa y posterior reorganización. En esta nueva capa octaédrica, el hierro oxidado y el aluminio reemplazan al hierro ferroso y al magnesio en algunas posiciones.

Palabras clave: Vermiculita, gneis, suelos, M.E.T.

INTRODUCCIÓN

En la fracción arcilla, la vermiculita aparece en numerosos tipos de suelos bajo diversas condiciones de alteración, desde las zonas polares a las tropicales, pasando por zonas templadas y subtropicales, en las que es de

los minerales de arcilla más abundantes. En España, son comunes en los suelos desarrollados a partir de granitos, granodioritas, adamellitas, esquistos, gneis y migmatitas, que contienen considerable cantidad de micas. Estas zonas españolas se caracterizan por un clima mediterráneo templado fresco.

Se conocen diversas clases de vermiculita: trioctaédrica, trioctaédrica con hidróxidos interlaminares, dioctaédrica, dioctaédrica con hidróxidos interlaminares (Kirkland y Hajek, 1972) y di-trioctaédrica (Barshad y Kish, 1969).

Vicente et al. (1977), en un modelo experimental de alteración de biotita en medio ácido, identifican vermiculitas y vermiculitas con hidróxidos de aluminio interlaminares. Consideran que estos últimos provienen de la alteración de biotita por pérdida de aluminio de la red del filosilicato y su posterior incorporación al espacio interlaminar, en el que, parcialmente hidroxilado, queda retenido. Righi y Meunier (1995), en suelos templados europeos, a partir de rocas ácidas, en el Macizo Central francés, identifican vermiculitas dioctaédricas y trioctaédricas en el material de partida y en las fracciones finas de los suelos desarrollados a partir de dicho material. Estas vermiculitas pueden ser heredadas o provenir de la alteración de las micas. Dichos autores consideran que en la fracción más gruesa de la arcilla y en el limo los filosilicatos son heredados (micas, cloritas, vermiculitas e interestratificados mica-vermiculita y clorita-vermiculita), mientras que en la fracción más fina de la arcilla identifican vermiculitas e interestratificados micas-vermiculitas de transformación de micas. Ezzaim et al. (1999), en suelos pardos ácidos de la región de Beaujolais (Francia) encuentran interestratificados mica-vermiculita con hidróxidos interlaminares, generados a partir de la alteración de biotita; dichas vermiculitas pueden ser trioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares. En trabajos de Barba et al. (1993, 1995 a y 1995 b) y de Hernando et al. (1990), en suelos generados a partir de gneis glandular, establecen la composición mineralógica de las fracciones densas y ligeras de la arena fina, así como la composición mineralógica de la fracción arcilla en los distintos horizontes de los suelos, poniendo de manifiesto la evolución de los filosilicatos en

el paso roca-suelo y señalan la abundancia de vermiculita en los mismos.

El objeto de este trabajo es el de establecer la composición química y la génesis de los distintos tipos de vermiculita existentes en la fracción arcilla de suelos desarrollados a partir de un gneis glandular, en los que la vermiculita es el producto final de la alteración de biotita en las condiciones ambientales del medio.

MATERIAL Y METODOS

El estudio se ha realizado en Leptosoles, Cambisoles y Phaeozems, así como en el gneis glandular (material de partida común a todos ellos) reducido a tamaño inferior a dos μm .

Los suelos se distribuyen en las laderas del Valle del río Lozoya (Morcuera, Navarra y Cerro de la Cruz), a unas altitudes comprendidas entre los 1100 m y los 1780 m. La vegetación varía en función de la altitud y de la orientación de la ladera. En Morcuera: piornal, melojar y en el fondo del valle, pradera; en Navarra: pinar y melojar; y en el Cerro de la Cruz aparece un bosque mixto de sabinas, enebros y encinas.

La Sierra de Guadarrama constituye una barrera continua de 1500 m de altitud, con algunos picos que sobrepasan los 2000 m. El tipo climático de las zonas de estudio es mediterráneo templado fresco, con un régimen térmico pirenaico y un régimen de humedad, mediterráneo húmedo.

Las propiedades morfológicas y la clasificación de suelos se realizaron según F.A.O. (1977, 1998); el color se determinó con la Soil Color Chart (Munsell, 1975); el estudio en lámina delgada de la roca por microscopía petrográfica; el contenido en materia orgánica, según Walkley y Black (1974); la textura, contenido en nitrógeno total, pH en agua y en solución de cloruro potásico, capacidad de cambio total, bases de cambio y extracción de la fracción arcilla, siguiendo la metodología propuesta por I.S.R.I.C. (1993).

Los análisis de vermiculita se han realizado por microscopía electrónica de transmisión (M.E.T.), utilizando un Espectrómetro AN 10000 Link con detector de Si-Li, de ventana ultrafina, instalado en un microscopio analítico JEOL, modelo JEM 2000 FX (220 Kv), siguiendo las indicaciones de Beaman et al. (1972), Albee (1977), Tanaka et al. (1989) y Barba et al. (1991), previa preparación de la muestra de arcilla suspendiéndola en agua y dispersándola por sonicación; posteriormente se deposita sobre una rejilla de cobre cubierta con una película de carbono con orificios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos se presentan en las tablas 1 y 2. Se trata de suelos poco profundos, en general, de colores pardos, con bajos valores de los "values" en los horizontes organominerales. Las texturas van de arenosa a arenosa franca, con bajos contenidos de arcilla, y la estructura es granular, de moderada a débil. El contenido en materia orgánica es más alto que la media de los suelos españoles. Las relaciones C/N indican procesos de humificación de mediana intensidad. El pH suele ser ligeramente ácido, ligado a las condiciones climáticas, vegetación y material de partida. En algunos suelos el grado de saturación en bases es alto, repartiéndoles un carácter mólico. En el Cerro de la Cruz, a pesar del material originario ácido, el grado de saturación elevado permite el desarrollo, o al menos permanencia del sabinar, que aparece generalmente sobre materiales carbonatados.

En las tablas 3 a 6 se indica la composición química de las distintas vermiculitas analizadas por M.E.T. en la fracción arcilla de algunos horizontes de los suelos y en el gneis reducido a tamaño inferior a dos μm . Los datos se expresan en porcentajes de óxidos de los distintos elementos.

El estudio en lámina delgada del gneis muestra un metamorfismo regional profundo, en función de su textura y composición mineralógica: abundantes minerales aluminicos (moscovita, biotita, granate, silimanita, etc.), junto a los mayoritarios cuarzo y feldespatos, que forman cristales de tamaño grande y medio. La biotita, más abundante que el resto de las micas, en ocasiones se transforma total o parcialmente en clorita verde (I.G.M.E., 1980), también identificada en dicho estudio. En un estudio anterior, Barba (1993) identifica junto a los minerales anteriormente citados, vermiculita, caolinita, illita e interestratificados mica-clorita y clorita-vermiculita. El posible origen metamórfico de la vermiculita ha sido indicado por Black (1975), Velde (1978, 1985) y McDowell y Elders (1985). Dichos autores consideran la vermiculita como un mineral accesorio que coexiste con clorita y biotita.

La vermiculita del gneis es dioctaédrica con hidróxido de aluminio interlaminar, de acuerdo con la composición química dada por Kirkland y Hajek (op.cit.), con porcentajes de óxido de aluminio comprendidos entre el 37,28% y el 45,10%. También se identifican vermiculitas con hidróxidos de hierro interlaminares (tabla 3).

Las vermiculitas de la fracción arcilla de los distintos Leptosoles, Cambisoles y Phaeozems analizadas presentan una composición química a medio camino entre la vermiculita dioctaédrica y la trioctaédrica, con un alto contenido en aluminio, pero no tanto como para clasificarlas como dioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares, y con menor contenido en magnesio que las vermiculitas trioctaédricas de Douglas (1989). Por lo tanto, las vermiculitas encontradas se pueden clasificar como di-trioctaédricas, muy similares en su composición a las citadas por Barshad y Kishk (op.cit.) en suelos desarrollados a partir de gneis.

Las vermiculitas di-trioctaédricas se forman a partir de la alteración de biotita del

TABLA 1. Propiedades morfológicas y clasificación de los suelos.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color		Textura	Estructura	Clasificación (*)
		húmedo	seco			
Puerto de la Moarcuera:						
Perfil P.1	Pendiente del 15%; orientación E-NE.					
Ah1	0-20	10YR 3/1	10YR 3/2	Ar.	2gra.f.	Cambisol dístrico
Ah2	20-30	10YR 4/1	10YR 4/2	Fco.-Ar.	2gra.f.	
Bw	30-35	10YR 5/4	10YR 6/4	Ar. Fca.	2 p. f.	
Perfil P.2	Pendiente del 25%; orientación NE.					
Ah1	0-20	10YR 3/1	10YR 3/3	Ar.	1gra.m.	Leptosol úmbrico
Ah2	20-30	10YR 3/3	10YR 5/3	Ar.	1gra.f.	
Perfil P.3	Pendiente del 25%; orientación N.					
Ah	0-40	10YR 3/1	10YR 3/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Phaeozem háplico
Perfil P.4	Pendiente del 10%; orientación SO.					
Ah1	0-10	10YR 3/3	10YR 4/3	Ar.	1gra.f.	Leptosol dístrico
Ah2	10-35	10YR 4/4	10YR 5/3	Ar. Fca.	1gra.f.	
Perfil P.6	Pendiente del 25%; orientación N.					
Ah1	0-10	10YR 2/2	10YR 3/1	Fco.-Ar.	1gra.m.	Phaeozem háplico
Ah2	10-20	10YR 3/1	10YR 4/2	Fco.-Ar.	1gra.f.	
Ah3	20-70	10YR 3/2	10YR 4/1	Ar. Fca.	1gra.f.	
Perfil P.7	Pendiente del 25%; orientación N.					
Ah	0-40	10YR 3/2	10YR 4/2	Fco.-Ar.	1gra.m.	Cambisol eútrico
Bw	40-80	10YR 4/3	10YR 6/3	Ar. Fca.	2 p. m.	
Perfil P.8	Pendiente del 1%; orientación E.					
Ah	0-5	10YR 4/2	10YR 6/3	Fco.-Ar.	1gra.m.	Cambisol eútrico
Bw	5-55	10YR 4/4	10YR 7/3	Fco.-Ar.	1gra.m.	
Perfil P.10	Pendiente del 1%; orientación SE.					
Ah1	0-10	10YR 3/1	10YR 4/2	Fco.-Ar.	2gra.f.	Phaeozem háplico
Ah2	10-30	10YR 3/2	10YR 5/2	Fco.-Ar.	2gra.f.	
Bw	30-60	10YR 5/2	10YR 6/3	Fco.-Ar.	2gra.f.	
Puerto de Navafría:						
Perfil P.11	Pendiente del 5%; orientación N-NE.					
Ah	0-15	10YR 3/2	10YR 3/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Leptosol úmbrico
Perfil P.12	Pendiente del 20%; orientación N.					
Ah	0-30	10YR 3,5/2	10YR 4/2	Fco.-Ar.	1gra.f.	Leptosol úmbrico
Perfil P.13	Pendiente del 15%; orientación N.					
Ah	0-30	10YR 3/3,5	10YR 4/4	Ar. Fca.	1gra.f.	Cambisol dístrico
Bw	30-50	10YR 7/4	10YR 7/3	Ar. Fca.	2p. m.	
Perfil P.14	Pendiente del 30%; orientación E-NE.					
Ah	0-6	10YR 3/3	10YR 4/3	Fco.-Ar.	2gra.f.	Cambisol eútrico
Bw	6-30	10YR 4/3	10YR 4/4	Fco.-Ar.	2p. m.	
El Chaparral:						
Perfil P.15	Pendiente del 2%; orientación E.					
Ah	0-35	7,5YR 4/2	7,5YR 5/4	Fco.-Ar.	2gra.f.	Leptosol eútrico
Perfil P.16	Pendiente del 10%; orientación E.					
Ah	0-15	7,5YR 3/2	10YR 4/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Leptosol úmbrico
Perfil P.17	Pendiente del 1%; orientación NE.					
Ah	0-40	10YR 3/3	10YR 5/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Leptosol móllico

TEXTURA: Ar.- arenosa, Fco.-Ar.- francoarenosa, Ar. Fca.- arenosa franca.

ESTRUCTURA: 1.- débil; 2.- moderada; 3.- fuerte; gra.- granular; p.- particular; f.- fina; m.- media; g.- gruesa

TABLA 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos.

Horizonte	C (%)	M.O. (%)	N (%)	C/N	pH		T (*)	S (*)	V (%)	Ca ²⁺ (*)	Mg ²⁺ (*)	K ⁺ (*)	Na ⁺ (*)
					H ₂ O	ClK							
Puerto de la Morcuera:													
Perfil P.1													
Ah1	7,80	13,45	0,52	15,01	5,00	4,61	23,60	6,19	26,65	3,76	0,87	0,35	1,21
Ah2	7,37	12,70	0,62	11,88	4,90	4,11	21,56	5,92	27,46	3,86	0,82	0,25	0,99
Bw	1,63	2,81	0,20	8,15	4,58	3,76	12,46	2,91	23,35	0,48	0,47	1,12	0,84
Perfil P.2													
Ah1	7,24	12,48	0,42	17,23	5,65	5,08	10,35	4,80	46,38	1,60	0,73	1,41	1,06
Ah2	4,20	7,24	0,28	15,00	5,50	4,53	10,02	7,63	76,15	3,74	1,71	1,34	0,84
Perfil P.3													
Ah	14,48	24,96	1,02	14,19	5,80	5,09	23,65	12,92	54,63	7,07	2,16	2,68	1,01
Perfil P.4													
Ah1	6,08	10,47	0,44	13,79	5,67	5,11	8,85	6,45	72,80	2,62	1,21	1,79	0,83
Ah2	2,37	4,08	0,26	9,11	4,87	4,39	10,83	4,11	37,95	0,94	0,81	1,45	0,91
Perfil P.6													
Ah1	4,31	7,43	0,45	9,58	6,26	5,34	30,54	22,25	72,86	16,60	2,41	1,99	1,25
Ah2	2,36	4,06	0,25	9,42	6,19	5,67	26,99	15,63	57,91	11,20	1,82	1,71	0,90
Ah3	2,80	4,83	0,36	7,77	6,05	5,25	15,52	8,54	55,06	5,25	1,18	1,39	0,72
Perfil P.7													
Ah	2,98	5,13	0,28	10,64	6,50	5,72	18,12	16,57	91,44	12,80	1,12	1,39	1,26
Bw	0,13	0,23	0,11	1,20	5,77	5,56	9,41	4,36	46,29	1,75	0,95	0,94	0,72
Perfil P.8													
Ah	2,95	5,09	0,33	8,89	6,25	5,94	16,49	7,89	47,85	3,74	2,65	0,80	0,70
Bw	0,98	1,69	0,16	5,99	5,54	4,56	10,64	5,39	50,66	3,12	1,36	0,36	0,55
Perfil P.10													
Ah1	3,67	6,33	0,42	8,66	6,13	5,70	14,95	8,25	55,18	3,99	3,08	0,48	0,70
Ah2	1,60	2,76	0,32	5,04	5,91	5,43	11,87	7,29	61,41	3,98	2,37	0,25	0,69
Bw	1,02	1,76	0,20	5,20	6,70	5,88	10,97	7,58	69,09	3,93	2,74	0,22	0,69
Puerto de Navafra:													
Perfil P.11													
Ah	7,25	12,45	0,34	21,10	5,35	4,70	25,15	6,26	24,87	4,00	1,38	0,41	0,47
Perfil P.12													
Ah	5,17	8,88	0,26	19,86	5,29	4,45	21,05	5,20	24,70	4,75	0,21	0,13	0,11
Perfil P.13													
Ah	4,30	7,38	0,22	19,54	5,40	4,55	19,10	6,74	35,29	5,50	0,56	0,40	0,28
Bw	2,08	3,57	0,15	13,80	4,80	4,00	14,20	6,88	48,45	6,00	0,31	0,25	0,32
Perfil P.14													
Ah	7,03	12,07	0,36	19,79	5,85	4,95	25,20	22,87	90,75	18,00	3,45	1,26	0,16
AB	3,38	5,81	0,17	19,37	4,90	3,80	16,37	6,91	42,21	4,75	0,93	0,40	0,83
El Chaparral:													
Perfil P.15													
Ah	2,84	4,88	0,19	15,07	6,40	5,34	6,99	5,73	81,97	4,45	0,30	0,67	0,31
Perfil P.16													
Ah	2,45	4,21	0,21	11,46	5,90	4,69	9,00	4,32	48,00	3,08	0,26	0,70	0,28
Perfil P.17													
Ah	2,06	3,54	0,17	12,05	6,44	5,36	6,06	4,91	81,02	3,42	0,30	0,66	0,53

M.O.- Materia orgánica; C- Carbono; N- Nitrógeno; C/N- Relación Carbono/Nitrógeno;

T- capacidad total de cambio; S- suma de bases, V- grado de saturación; (*)- Expresado en cmol.kg⁻¹.

TABLA 3. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en gneiss, reducido a tamaño inferior a 2 μm (en %).

SiO ₂	47.01	42.50	45.83	40.33	46.16
Al ₂ O ₃	38.18	39.79	41.04	39.68	33.89
K ₂ O	5.80	6.89	8.90	1.43	4.62
FeO+Fe ₂ O ₃	5.31	9.19	2.68	13.04	10.14
MgO	3.70	1.62	1.56	3.17	5.19
CaO	—	—	—	0.56	—
TiO ₂	—	—	—	1.78	—

gneis en un clima templado y medio moderadamente ácido. Esta alteración conlleva una pérdida de potasio interlaminaar y de magnesio de la capa octaédrica; en dicha capa se produce una oxidación del hierro ferroso, con destrucción de la misma y posterior reorganización. En esta nueva capa octaédrica, el aluminio y el hierro trivalentes reemplazan al magnesio y al hierro divalentes en algunas posiciones, por lo que un filosilicato, en principio trioctaédrico, se convierte en di-trioctaédrico, lo que se pone de manifiesto por la composición química de las vermiculitas de los suelos (tablas 4, 5 y 6). Esta nueva vermiculita es muy común en suelos y fue citada por Velde (1985).

En un suelo de Navafría (P.14) se identifica vermiculita alumínica con hidróxido de aluminio interlaminaar, como la que aparece en el gneis, que puede ser heredada del gneis o bien formarse por aporte de aluminio hidroxilado dada su posición de piedemonte, por lo que se recogen las soluciones que provienen de más arriba en la ladera. Rich (1968) indica que las condiciones óptimas de formación de esta vermiculita se dan en medios moderadamente ácidos, bajos contenidos en materia orgánica, condiciones oxidantes y ritmos de humectación y sequía, condiciones que no se cumplen en Navafría, sobre todo en lo que se refiere al contenido en materia orgánica y los ritmos de humectación y sequía. Sin embargo estas condiciones no son del todo limitantes. Graham y Buol (1990), en suelos desarrollados sobre gneis y esquistos, con moscovita, biotita, clorita, cuarzo y plagioclasas, en el

Blue Ridge Front (North Carolina), identifican minerales tales como interestratificados biotita-vermiculita y vermiculita con hidróxidos interlaminaares. Fitcher et al. (1998), en Dystrochreps bajo bosques, en los Vosgos (Noreste de Francia), desarrollados a partir de granito, encuentran transformaciones de illita en interestratificados illita-vermiculita por pérdida parcial de potasio, disminución de la carga por pérdida de aluminio de la capa tetraédrica y subsecuente ganancia en sílice. La posibilidad de formación de polímeros de hidroxialuminio interlaminaares se debe a la presencia de compuestos amorfos de aluminio generados en un proceso actual; dicho proceso es similar al citado por nosotros en el caso de P.14 de Navafría. Chiang et al. (1999), en suelos ácidos de bosques alpinos de Taiwan, identifican vermiculita y vermiculita con hidróxidos interlaminaares a partir de areniscas y pizarras, dando como condiciones favorables para su formación: pH moderadamente ácido (4,6-5,8), frecuentes ciclos de humectación y sequía, bajo contenido en materia orgánica y condiciones oxidantes. Estas vermiculitas con hidróxidos interlaminaares son consideradas como productos intermedios del proceso de alteración de micas. Velde (1995) admite la transformación de minerales trioctaédricos en dioctaédricos y viceversa. Esto podría suponer que, en nuestro caso, las vermiculitas alumínicas con hidróxidos de aluminio interlaminaares del gneis de partida pasaran en la fracción arcilla de los suelos como un estadio intermedio de vermiculitas di-trioctaédricas. Sin embargo,

TABLA 4. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en la fracción arcilla (en %), Puerto de la Morcuera.

Suelo	P.1		P.2		P.3		P.4		P.6		P.7		P.8		P.10	
	Ah1	Ah1	Ah1	Ah2	Ah	Ah2	Ah2	Ah2	Ah3	Ah3	Ah3	Ah	Ah	Ah	Bw	Bw
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15
SiO ₂	40.54	37.54	42.74	44.24	45.55	47.46	35.95	42.11	40.44	36.63	40.26	35.51	39.75	38.19	40.87	40.87
Al ₂ O ₃	29.74	29.20	35.58	33.37	33.33	32.81	32.24	33.37	34.30	30.22	28.74	22.14	22.31	30.88	33.64	33.64
MgO	4.53	6.69	2.63	1.93	-	-	2.88	1.41	1.68	4.00	2.63	8.11	10.89	7.30	4.74	4.74
K ₂ O	3.63	2.35	2.46	2.94	2.11	3.69	2.43	3.86	4.00	3.94	4.94	6.56	6.09	0.57	1.41	1.41
FeO+Fe ₂ O ₃	19.31	19.74	10.75	11.14	10.04	9.19	16.81	14.53	16.29	22.77	19.50	24.61	17.58	22.64	17.06	17.06
TiO ₂	2.23	2.23	0.25	-	5.99	0.47	9.39	-	0.23	2.44	1.61	3.08	3.48	-	1.51	1.51
CaO	-	1.14	1.81	2.09	2.15	2.43	0.58	1.32	1.77	-	2.03	-	-	0.42	0.77	0.77
Cl	-	1.09	0.30	0.54	-	0.37	-	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	-	2.08	1.56	-	1.92	-	1.68	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	1.38	1.42	-	1.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	-	0.88	-	-	-	0.91	1.30	-	0.29	-	-	-	-	-

TABLA 5. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en la fracción arcilla (en %).
Puerto de Navarra

Suelo	P.11			P.12				P.13			P.14		
	Ah	AB	AB	AB									
Horizontes	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SiO ₂	38.27	35.87	36.77	37.88	39.14	37.32	38.91	41.23	37.41	37.46	40.91	35.97	39.09
Al ₂ O ₃	28.12	27.13	28.89	32.77	35.55	31.97	22.99	33.64	27.64	29.09	37.95	38.43	31.05
MgO	8.19	8.61	9.43	6.07	4.51	8.04	8.78	2.69	7.65	9.67	5.15	3.61	8.08
K ₂ O	1.74	0.84	3.13	3.07	2.04	3.37	7.72	2.14	5.68	6.26	0.61	1.87	5.25
FeO+Fe ₂ O ₃	23.68	26.70	17.79	20.19	16.51	16.87	18.55	17.02	18.79	15.91	15.38	14.44	15.13
TiO ₂	-	-	2.53	-	2.25	2.57	3.15	0.84	2.00	1.68	-	0.33	1.24
CaO	-	0.47	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-	0.70	-
Cl	-	0.37	0.68	-	-	-	-	-	0.57	-	-	0.31	-
P	-	-	-	-	-	-	-	2.44	-	-	-	4.30	-

TABLA 6. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en la fracción arcilla (en %).
Cerro de la Cruz.

Suelo	P.15		P.16		P.17	
	Ah	Ah	Ah	Ah	Ah	Ah
Muestras	29	30	31	32	33	34
SiO ₂	35.23	36.90	37.55	35.94	36.96	40.15
Al ₂ O ₃	34.70	32.36	31.92	29.91	30.85	28.62
MgO	5.49	7.64	5.58	9.19	6.83	5.60
K ₂ O	2.88	3.50	4.32	3.04	2.69	6.12
FeO+Fe ₂ O ₃	15.68	15.05	14.98	18.49	16.36	15.45
TiO ₂	1.85	-	1.84	2.94	2.66	1.66
CaO	-	0.81	-	-	1.48	-
Cl	0.27	-	0.34	0.32	0.41	0.29
P	2.61	2.36	1.86	-	1.33	1.08
S	0.92	1.16	-	-	-	0.46
MnO	0.29	-	0.23	-	0.24	-
Na ₂ O	-	-	1.38	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	0.38

la estabilidad de las primeras es tanto mayor, incluso que la de la caolinita, según indican Zelazny et al. (1975) y Karathanasis et al (1983).

En los suelos de la Sierra de Guadarrama, la baja estabilidad de los minerales primarios ferromagnesianos, permite una liberación significativa de hierro; este elemento, más o menos hidroxilado, puede participar en la formación de minerales tales como vermiculita con hidróxido de hierro interlamina (Vicente et al., 1983) y en la formación de fases cripto-

cristalinas externas de Fe.OOH (Farmer et al. 1971), fenómeno que se traduciría, en nuestro caso, en una elevación del contenido en hierro como se refleja en los análisis químicos de las vermiculitas estudiadas (tablas 3 a 6).

La vermiculita fue seleccionada para este trabajo porque es el punto final de la alteración de biotita en estos ambientes, en los que los silicatos laminares esmectíticos son raros y las caolinitas presentes no provienen de la alteración de filosilicatos, sino de la alteración de feldespatos (Barba et al., 1993, 1995a).

CONCLUSIONES

Los suelos estudiados se encuentran en estado estacionario, es decir, en equilibrio con las condiciones ambientales en las que se desarrollan, por lo que evolucionan tan lentamente que sus propiedades apenas varían. Estos suelos son pobres en arcillas, y dentro de esta fracción, la vermiculita es un mineral abundante. Aparecen en los Solum dos clases de vermiculitas: las ditrioctaédricas, muy comunes, y puntualmente, dioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares. Las primeras proceden de la alteración de biotita, dado que en su composición química existe TiO_2 , K_2O y en algunas presencia de MnO_2 , elementos comunes en capas octaédricas (Ti y Mn) y entre las láminas (K); de aquí que en algunos casos, las vermiculitas presenten un exceso de K_2O . El elevado contenido de Fe va ligado a la formación de hidróxidos de Fe interlaminares o a la formación de fases criptocristalinas externas de $\text{FeO} \cdot \text{OH}$. No se puede descartar que en algunas ocasiones estas vermiculitas provengan directamente de la alteración de biotita, sino que se formen a través de cloritas intermedias: Biotita---Clorita---Vermiculita; cloritas se han identificado tanto en el gneiss, como en las fracciones arena y arcilla de los suelos, pero en pequeñas cantidades.

La vermiculita dioctaédrica con hidróxido de Al interlaminares, que aparece puntualmente en los suelos de Navafría, proviene de las vermiculitas del gneiss por microdivisión.

REFERENCIAS

- Albee, A.L. (1977). Quantitative analysis of petrographic properties and of mineral compositions with a computer-controlled energy-dispersive system. Proc. 8th. Intern. Conf. X-Ray Optics and Microanalysis. Proc. 12th MAS Conf., 181.
- Barba Carretero A. (1993). Estudio químico y mineralógico de suelos desarrollados sobre gneis y migmatitas. Variación en la composición de los minerales de arcilla en los procesos de alteración. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Barba Carretero A., Hernando Massanet M.I., Hernando Costa J., Barba Solana C. (1993). Cloritas de suelos desarrollados sobre gneis en el Valle de El Pualar. In Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ed.). El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. *XII Cong. Latinoam. de la Ciencia del Suelo*. Tomo III. Salamanca. España.
- Barba Carretero A., Hernando Massanet M.I., Hernando Costa J., Barba Solana C. (1995a). Caolinita en suelos ácidos. *XX Reunión Nacional de Suelos*. Tomo de Comunicaciones. Dep. Edafología. U.C.M. Madrid.
- Barba Carretero A., Hernando Massanet M.I., Hernando Costa J., Barba Solana C. (1995b). Composición de micas ilitas en suelos de montaña desarrollados bajo robledal y pinar. *Historia Natural* 93. 29-38. Jaca (Huesca, España).
- Barba Solana C., Baldonado Rodríguez J.L., García Álvarez F. (1991). Determinación de la resolución espacial y de los factores K de Cliff-Lorimer en un microscopio JEOL 2000 FX. *Revista de Metalurgia*, C.E.N.I.M., Madrid, 397-402.
- Barshad I., Kishk F.M. (1969). Chemical composition of soil vermiculite clays as related to their genesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* 24:136-155.
- Beaman D.R., Solosky L.F. (1972). Accuracy of quantitative Electron Probe Microanalysis with Energy Dispersive Spectrometers. *Anal. Chem.* 44(9):1598-1610.

- Black P.M.(1975). Mineralogy of New Caledonian metamorphic rocks. IV. Sheet silicates from Onégoa district. *Contrib. Min. Petr.* 49:269-284.
- Douglas L.A.(1989). Vermiculites, 259-292. In Dixon & Weed (Eds.). Minerals in Soil Enviroments. *Soil Sci. Soc. of Am.* Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Ezzaim A., Turpault M.P., Ranger J.(1999). Quantification of weathering processes in an acid brown soil developed from tuff (Beaujolais, France). Part II. Soil formation. *Geoderma* 87: 155-177.
- FAO(1977). Guía para la descripción de perfiles del suelo. Roma.
- FAO(1998).World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report. 84. ISSS-AISS-IBG. ISRIC. 88 pp.
- Farmer V.C., Russell J.D., McHardy W.J., Newman A.C.D., Ahlrichs J.L., Rimsaite J.Y.H.(1971). Evidence of loss of protons and octahedral iron from oxidized biotites and vermiculites. *Mineral Mag.* 38: 121-137.
- Feldman S.B., Zelazny L.W., Baker J.C.(1991). High-elevation forest soils of the Southern Appalachians: II. Geomorphology, pedogenesis and clay mineralogy. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 55: 1782-1791.
- Fitcher J., Turpault H.P., Dambine E., Ranger J.(1998). Mineral evolution of acid forest soils in the Strengbach catchment (Volges Mountains, NE France). *Geoderma* 82.315-340. Elsevier.
- Ghabru S.K., Mermut A.R., Arnaud R.J.S.T.(1987). The nature of weathered biotite in sand-sized fractions of Gray Luvisols.(Boral) in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*,40:65-82.
- Graham R.C., Buol S.W.(1990). Soil geomorphic relations on the Blue Ridge Front II: Soil characteristics and Pedogenesis. *Soil Science Soc. Am. Jorunal.*, 54, 1367-1377.
- Hernando I., Barba A., Barba C., Hernando J.(1990). Variación en las características de los suelos de una catena de la Sierra de Guadarrama (Puerto de la Morcuera, Madrid, España). *Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo.* Vol.II. La Habana. Cuba. pg. 423-425.
- Hsion-Chuah Chiang, Ming-Kuang Wang, Kun-Huang Houg, White N., Dixon J.(1999). Mineralogy of B horizon in alpine forest soils of Taiwan. *Soil Science.* 164: 111-122. Lippincott William & Wilkins, Inc. U.S.A.
- I.G.M.E.(1980). Mapa Geológico de España nº38. Segovia. Escala 1:200000.
- I.S.R.I.C.(1993). Procedures for Soil Analysis. Wageningen, The Netherlands.
- Karathanasis, Adams A.D.F., Hajek B.F.(1983). Stability relationships in Kaolinite, Gibbsite and Al-hydroxy interlayered Vermiculite soil sistems. *Soil Sci. Soc. Am.* 3, 47:1247-1251.
- Kirkland, D.L., Hajek, B.F.(1972). Formula derivation of Al-interlayered vermiculite in selected soil clays. *Soil Sci.* 114:317-322.
- MacDowell S.D., Elders W.A.(1985). Authigenic layer silicate minerals in Borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, U.S.A. *Contrib. Min. Petr.*74:293-310.
- Munsell, (1975). Soil Color Charts. Edit. Kollmorgen Corp. Maryland, USA.
- Rich C.L.(1968). Hydroxy interlayers of vermiculite. *Soil Sci. Am.Proc.* 24, 15-30.
- Righi D., Meunier A. in Velde(1995). Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment. Chap. 3. Springer 334pp.
- Soil Survey Staff.(1975). Soil Taxonomy. Soil Conservation Service of the U.S. Department of Agriculture.
- Soil Survey Staff.(1994). Keys to Soil Taxonomy. Crop and Soil Environmental Sciences Department, Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Soil Conservation Service of the U.S. Department of Agriculture. Virginia. Sixth Edition.
- Tanaka M., Terauchi M., Kaneyama T.(1989). Convergent-beam Electron Diffraction II, JEOL Ltd.
- Velde, B.(1978). High temperature or metamorphic vermiculites. *Contr. Miner. Petr.* 66:319-323.
- Velde, B.(1985). Clay Minerals. A physico-chemical explanation of their occurrence. Developments in Sedimentology n° 40. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Velde, B.(1995). Origin and Mineralogy of Clays. Clays and the Environment. Springer.
- Vicente M.A., Razzaghe M., Robert M.(1977). Formation of aluminium hydroxy vermiculite (intergrade) and smectite from mica under acid conditions. *Clay Minerals* 12. pp.101-112.
- Vicente-Hernández J., Vicente M.A., Robert M., Goodman B.A.(1983). Evolution des biotites en fonction des conditions d'oxido-réduction du milieu. *Clay Mineral.* 18:267-275.
- Walkley A., Black I.A.(1974). A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil Sci.* 63, 251-254.
- Zelazny, J.W., Carlisle V.W., Calhoun F.G(1975). Clay mineralogy of selected Palendults from the Lower Coastal Plain. pg.180. In agronomy abstracts, ASA. Madison, WI.

ANÁLISIS MULTIVARIADO Y UNIVARIADO EN LA DISCRIMINACIÓN DE SISTEMAS DE USO DE SUELOS DEL CENTRO DE SANTA FE

A. PIRES DA SILVA, S. IMHOFF, N.F.B. GIAROLA y C.A. TORMENA*

Dpto. de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, C.P. 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: apisilva@carpa.ciagri.usp.br.

*Dpto. de Agronomia, UEM, PR, Brasil. E-mail:catormen@uem.br.

Abstract. The quantification of the degradation processes requires the evaluation of soil properties that can be used as indicators of the modifications induced by the different land use systems. The objectives of this research were to: (i) evaluate the potential of the multivariate (canonical discriminant analysis, CDA) and univariate (analysis of variance, ANOVA) statistical techniques for discriminating the different land management systems in two Argiudolls and, (ii) identify the most sensible properties to the alterations induced by different management systems. In the soils Aquic Argiudoll and Typical Argiudoll, that have been used with continuous agriculture, extensive livestock, intensive livestock, and virgin vegetation, were evaluated pH, C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al, S-SO₄, B, Cu²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ and %S/T. The results indicated that the CDA was more efficient than ANOVA to discriminate the land management systems as well as to identify the nutrients more sensitive to soil degradation.

Key words: canonical discriminant analysis, analysis of variance, land management systems, soil chemical properties.

Resumen. La cuantificación de la degradación de los suelos requiere la evaluación de propiedades que sean indicadoras de las alteraciones inducidas por diferentes sistemas de manejo. Los objetivos de este trabajo fueron: i) evaluar el potencial de las técnicas estadísticas multivariada (análisis discriminante canónica, ADC) y univariada (análisis de varianza, ANOVA) para discriminar diferentes sistemas de manejo en dos Argiudoles y, ii) identificar las propiedades químicas más sensibles a las alteraciones inducidas por los sistemas de manejo en esos suelos. En los suelos Argiudoll áquico y Argiudoll Típico, sometidos a agricultura continua, ganadería extensiva, ganadería intensiva y vegetación virgen, fueron evaluados pH, C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al, S-SO₄, B, Cu²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ y %S/T. Los resultados indicaron que el ADC fue más eficiente que el ANOVA para discriminar los diferentes sistemas de manejo y para identificar los nutrientes más sensibles a las alteraciones inducidas por esos sistemas.

Palabras clave: análisis discriminante canónica, análisis de varianza, sistemas de uso de las tierras,

INTRODUCCIÓN

La degradación del recurso suelo se manifiesta, principalmente, a través del agotamiento de los nutrientes y de modificacio-

nes de las características físicas y biológicas (Wit et al., 1995). La cuantificación de la degradación de los suelos requiere la evaluación de propiedades que sean indicadoras de las alteraciones inducidas por los sistemas de

manejo. Según Heil y Sposito (1997) es preciso identificar, entre los llamados atributos químicos indicadores de "calidad del suelo", como pH, materia orgánica, CIC, nutrientes, aquellos más sensibles a las prácticas de manejo.

En general, los trabajos analizan el efecto de los sistemas de uso de las tierras sobre diversas propiedades físico-químicas considerándolas separadamente. Ese procedimiento ignora el efecto de los tratamientos sobre las posibles interrelaciones entre las variables estudiadas, lo que reduce la comprensión de los efectos de las variables independientes sobre las variables dependientes (Cruz-Castillo et al., 1994). La evaluación conjunta de diferentes propiedades del suelo es un prerrequisito fundamental para la correcta interpretación del efecto de diferentes sistemas de uso de las tierras sobre la calidad del recurso suelo, tanto desde del punto de vista de la producción agropecuaria como de la protección del medio ambiente (Carter et al., 1997).

Considerando el suelo como una unidad natural en un continuo tridimensional dinámico, Nolin et al. (1989) mencionaron que, para determinar las interrelaciones entre varios atributos, son preferibles procedimientos estadísticos con enfoque multivariado. En ese contexto, el análisis multivariado es considerado más eficiente que el análisis univariado, en el que las correlaciones entre variables son ignoradas y la interpretación es limitada al análisis de las variables en forma independiente. Las técnicas estadísticas multivariadas permiten analizar simultáneamente múltiples características de los individuos estudiados, con la ventaja de que también es evaluada la existencia de correlación entre las variables estudiadas.

El análisis discriminante canónico (ADC) es una técnica estadística multivariada que permite la identificación de diferencias entre dos o más grupos (tratamientos) a

partir de medidas de características de los individuos pertenecientes a esos grupos, facilitando la comprensión de las relaciones entre las variables evaluadas dentro de esos grupos (Afifi y Clark, 1996). El ADC estima funciones lineales (funciones o variables canónicas) a partir de las variables cuantificadas, realizando la separación de los grupos de individuos al maximizar la varianza entre los grupos y minimizar la varianza dentro de los grupos (Cruz-Castillo et al., 1994). El fundamento teórico del ADC puede ser visto en varias publicaciones (Afifi y Clark, 1996; Manly, 1994; Webster y Oliver, 1990).

El ADC fue utilizado con el objetivo de separar grupos en diferentes áreas de investigación, por ejemplo identificación de pie de injertos más productivos (Cruz-Castillo et al., 1992), selección de ganado (Gilbert et al., 1993), detección de alteraciones en la composición botánica de comunidades de malezas (Derksen et al., 1993), identificación de diferentes especies de pinos (Donahue y Upton, 1996), demostrando inclusive su potencial en la ciencia del suelo, al ser exitosamente utilizado en clasificación de suelos (Vaselli et al., 1997), discriminación de sistemas de manejo (Quiroga et al., 1998) e identificación de las propiedades físico-químicas que más influenciaron la producción de maíz (Maddoni et al., 1999).

Pese a que los suelos del Centro de la provincia de Santa Fe son considerados naturalmente fértiles (Benites et al., 1994), la intensificación de las actividades agrícola-ganaderas está provocando una acelerada degradación del recurso suelo (Cursak de Castigniani et al., 1994; Orellana y Pilatti, 1994; Imhoff et al., 1996). Michelena et al. (1989) hicieron un seguimiento de varias propiedades físico-químicas, con el objetivo de identificar indicadores de calidad de suelos a escala regional, encontrando una correlación positiva entre intensidad de uso de las tierras y algunas propiedades, como carbono

orgánico, nitrógeno total, pH y estabilidad de agregados, entre otras. Maddonni et al. (1999) mencionaron que esos indicadores pueden variar localmente. Por lo tanto, estudios que consideren los sistemas de producción y los suelos más importantes a escala local, pueden ser de gran utilidad en la identificación de variables indicadoras del estado de degradación de los suelos.

El desarrollo de este trabajo se fundamentó en la hipótesis de que el análisis multivariado permite una mejor discriminación de los sistemas de uso de las tierras, a través de la evaluación de atributos químicos en la zona de enraizamiento de los suelos, que el análisis univariado. Los objetivos de este trabajo fueron: i) evaluar el potencial de las técnicas estadísticas multivariada (análisis discriminante canónica, ADC) y univariada (análisis de varianza, ANOVA) para discriminar diferentes sistemas de uso de las tierras en dos Argiudoles y, ii) identificar las propiedades químicas más sensibles a las alteraciones inducidas por los diversos sistemas de manejo en esos dos suelos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Las áreas estudiadas están localizadas en la región central de la provincia de Santa Fe, en el Departamento Las Colonias. Esta región se caracteriza por presentar relieve normal-subnormal con gradiente menor a 1% (Mosconi et al., 1981). Según Thornthwaite el clima del departamento Las Colonias es subhúmedo-húmedo, mesotermal (C2B'3ra').

Utilizando como base cartas topográficas (1:50000), carta de suelos (1:50000) y fotografías aéreas pancromáticas (1:20000) fueron seleccionadas áreas con suelos clasificados como Argiudoles Ácucos (Serie Humboldt) y Argiudoles Típicos (Serie Rincón de Ávila). Esos suelos fueron sometidos, por lo menos en los 10 últimos años, a los siguientes sistemas de uso de las tierras:

agricultura continua (Ag), ganadería extensiva (Ge), ganadería intensiva (Gi) y vegetación virgen (Vn).

Los suelos fueron originados a partir de sedimentos eólicos (loess) y, en general, presentan bajo contenido de arena (menor a 5%), excepto en las áreas con influencia de ríos (INTA, 1991). Los suelos de la serie Humboldt son profundos, moderadamente bien drenados y están ubicados en sectores planos o ligeramente deprimidos. La presencia del horizonte Bt potente, que restringe su permeabilidad, constituye su limitación más importante. Sin embargo, esos suelos están bien provistos de materia orgánica y bien estructurados. Los suelos de la serie Rincón de Ávila están ubicados en áreas más elevadas del paisaje y próximos del río Salado y afluentes menores. En general, esos suelos presentan valores variables de sodio y sales y, también, mayor contenido de arena debido a la influencia de los ríos. Los suelos de esta serie son susceptibles de erosión hídrica, especialmente cuando están localizados en pendientes extensas con más de 1% de gradiente (INTA, 1991).

Muestreo y análisis de laboratorio

En cada sistema de uso (Ag, Ge, Gi y Vn) fueron seleccionadas áreas, de aproximadamente 10 hectareas, localizadas en la misma posición topográfica. En cada área y en cada serie de suelos fueron extraídas, con un muestreador de 3 cm de diámetro, 200 muestras simples de la profundidad enraizable, siendo el límite inferior de muestreo el techo del horizonte Bt (Pilatti y Grenón, 1994). Las muestras simples fueron agrupadas, constituyendo 10 muestras compuestas (cada una formada por 20 muestras simples de suelo) de cada sistema. Las muestras fueron secadas al aire, pasadas por tamiz de malla de 2 mm y acondicionadas para la realización de los análisis químicos. En cada muestra fueron efectuadas las siguientes

determinaciones químicas: pH (en Cl_2Ca 0,01M), carbono orgánico expresado como materia orgánica (MO) (a través de oxidación con solución de dicromato de potasio), fósforo disponible (P), potasio (K^+), calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y sodio (Na^+) de intercambio (extraídos con resina de intercambio catiónica y aniónica), azufre expresado como sulfato (S-SO_4) (determinado por turbidimetría), Al^{+3} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$, boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn) determinados según la metodología descrita por Rajj (1998). A partir de los resultados fue calculado el valor de saturación con bases (%S/T).

Análisis Estadísticos

En una primera etapa fueron comparados los diferentes sistemas de uso, en cada serie de suelos, a través del análisis de varianza univariado (ANOVA). Para esto, fue utilizado el Modelo General Linear del Statistical Analysis System, procedimiento PROC GLM (SAS, 1991). Para verificar si los sistemas de uso de las tierras estudiados podían ser separados utilizando los atributos químicos evaluados, se utilizó la técnica de diferencias mínimas significativas (LSD) con un nivel de $\alpha = 0,05$.

En una segunda etapa, los datos fueron analizados con la técnica estadística multivariada denominada análisis discriminante canónico (ADC), utilizando el procedimiento PROC CANDISC (SAS 1991). Esta técnica permite el análisis de variables múltiples en un único test (Hatcher, Stepanski 1994) y, como en la primera etapa, fue usada para evaluar si los sistemas estudiados podían ser discriminados a través de las propiedades químicas medidas.

La lógica del ADC para la separación de los grupos se sustenta en la obtención de la combinación lineal (Z) de las variables independientes (Y_i), de forma que la correlación entre Z y Y_i sea maximizada. La idea básica en el ADC es encontrar los valores de los coeficientes que maximicen la correlación entre Z y Y_i .

El ADC transforma las variables originales en un número pequeño de variables compuestas, denominadas funciones o variables canónicas, que maximizan la variación entre los grupos (tratamientos) y minimizan la variación dentro de ellos.

La combinación lineal para una función discriminante (Z) puede ser representada por la ecuación 1:

$$Z = \mu_1 Y_1 + \mu_2 Y_2 + \dots + \mu_i Y_i$$

Donde μ_i es el coeficiente canónico e Y_i son las variables independientes medidas.

El número máximo de funciones discriminantes canónicas generadas es igual al número de tratamientos menos uno. En este trabajo, el número de funciones canónicas discriminantes resultante fue tres (3) en cada serie de suelo, debido a que fueron seleccionados cuatro tratamientos (4 sistemas de uso).

La distancia de Mahalanobis (D^2), definida como el cuadrado de la distancia entre las medidas de los valores estandarizados de Z (centros), fue utilizada para verificar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. De esa forma, cuanto mayor el valor de D^2 , mayor la distancia entre las medias de los dos tratamientos considerados. El centro de cada tratamiento representa el valor medio discriminante de los individuos de cada tratamiento. El estadístico lambda de Wilk's fue usado para evaluar si las funciones discriminantes canónicas contribuyeron significativamente en la separación de los tratamientos.

El número de variables canónicas estadísticamente significativas, en cada serie de suelo, fue evaluado por medio del cociente de verosimilitud ("Likelihood Ratio Test", LRT), siendo que la contribución relativa de cada variable fue obtenida a partir de las raíces características.

Los coeficientes canónicos estandarizados fueron utilizados para evaluar la contribución de cada variable independiente en cada función canónica. El valor de cada coe-

ficiente indica el poder de separación (o discriminación) de los tratamientos de la variable que está siendo considerada. Cuando los coeficientes son graficados en un sistema de coordenadas cartesianas, la dirección y el sentido de esos coeficientes (vectores) indican el grado de asociación entre cada variable y los tratamientos.

Para evaluar el poder de discriminación de las funciones canónicas obtenidas, en lo que respecta a los sistemas de uso estudiados fue efectuado un análisis de varianza con los valores medios de las funciones canónicas obtenidas, para cada serie de suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del ANOVA

Los valores obtenidos de cada una de las variables estudiadas, en las dos series de suelos, fueron sometidos a análisis exploratorios de datos siguiendo los procedimientos des-

criptos por Afifi y Clark (1996). Los resultados demostraron que ninguna variable presentó desvíos significativos con relación a los principios de normalidad y homocedasticidad, indicando ausencia de limitaciones para la realización del análisis de la varianza de los datos.

Los resultados del análisis de varianza de las variables estudiadas, las medias para cada sistema de uso y los valores de F, son mostrados en las Tablas 1 (Argiudol Ácuico) y 2 (Argiudol Típico). Los valores para la variable Al^{+3} no fueron incluidos debido a que los suelos estudiados presentaron ausencia de ese elemento. Los valores de F indican cuales fueron los atributos químicos más sensibles a los efectos de los sistemas de uso de la tierra. En el Argiudol Ácuico, las variables más sensibles a los efectos de manejo ($p < 0,001$) fueron pH, MO, P, K, Cu, Mn, B y Na, mientras que en el Argiudol Típico fueron pH, P, K, H, S, %S/T, Cu, Mn, Fe y B.

TABLA 1. Resumen del análisis de varianza de las variables medidas en el Argiudol Ácuico.

Argiudol Ácuico						
Variable	Ag	Gi	Ge	Vn	F	p<F
pH	5,2 ab	5,0 b	5,3 a	5,6 c	26,29	0,0001
MO(g dm ⁻³)	19,3 a	20,9 a	23,6 a	34,5 b	11,18	0,0001
P(mg dm ⁻³)	19,2 a	15,7 a	13,7 a	89,7 b	51,30	0,0001
K(mmolc dm ⁻³)	8,9 a	9,9 a	12,7 b	17,6 c	36,31	0,0001
Ca(mmolc dm ⁻³)	93,8 a	97,8 a	104,7 a	105,8 a	1,01	0,4002
Mg(mmolc dm ⁻³)	23,0 a	25,2 a	23,8 a	24,7 a	0,45	0,7196
H+Al(mmolc dm ⁻³)	26,2 a	28,3 a	27,8 a	32,9 a	0,25	0,8633
S-SO ₄ (mmolc dm ⁻³)	16,8 a	11,9 a	16,9 a	16,3 a	1,63	0,2033
%S/T	82,0 a	82,5 a	83,4 a	83,6 a	0,12	0,9452
Cu(mg dm ⁻³)	2,4 a	2,4 a	2,0 b	1,6 c	20,38	0,0001
Zn(mg dm ⁻³)	0,9 ab	0,7 b	0,7 b	1,2 a	3,13	0,0375
Mn(mg dm ⁻³)	47,7 a	53,5 b	49,6 ab	29,1 c	31,17	0,0001
Fe(mg dm ⁻³)	58,2 a	60,9 a	58,3 a	45,4 b	3,66	0,0213
B(mg dm ⁻³)	0,6 a	0,7 ab	0,9 b	1,1 c	13,44	0,0001
Na(mg dm ⁻³)	37,0 a	45,8 a	72,5 b	46,0 a	11,56	0,0001

Medias seguidas por la misma letra, en cada fila, no difieren significativamente a nivel de 5%, por el test LSD.

TABLA 2. Resumen del análisis de varianza de las variables medidas en el Argiudol Ácuico.

Variable	Argiudol Típico					
	Ag	Gi	Ge	Vn	F	p<F
pH	5,2 a	5,1 ab	5,0 b	4,7 c	21,05	0,0001
MO(g dm ⁻³)	20,4 a	25,8 ab	23,9 a	30,2 b	4,62	0,0078
P(mg dm ⁻³)	13,4 a	51,7 b	24,2 a	79,6 c	16,88	0,0001
K(mmolc dm ⁻³)	7,8 a	13,7 b	10,9 c	12,1 ab	14,19	0,0001
Ca(mmolc dm ⁻³)	76,0 a	84,1 ab	79,3 ab	87,9 b	2,18	0,1067
Mg(mmolc dm ⁻³)	18,4 ab	20,8 a	18,3 ab	16,9 b	2,36	0,0873
H+Al(mmolc dm ⁻³)	22,7 a	33,3 b	32,3 b	48,2 c	28,95	0,0001
S-SO ⁴ (mmolc dm ⁻³)	10,3 a	18,0 b	15,9 b	28,7 c	17,92	0,0001
%S/T	81,6 a	77,8 b	77,0 b	70,8 c	14,61	0,0001
Cu(mg dm ⁻³)	1,4 a	2,3 b	2,0 c	2,2 bc	25,45	0,0001
Zn(mg dm ⁻³)	0,5 a	0,9 a	0,8 a	1,5 b	5,74	0,0026
Mn(mg dm ⁻³)	37,1 a	46,1 bc	49,5 b	42,8 ac	6,90	0,0009
Fe(mg dm ⁻³)	42,8 a	80,1 b	64,2 b	105,9 c	16,46	0,0001
B(mg dm ⁻³)	0,5 a	0,8 b	0,7 ab	1,3 c	21,21	0,0001
Na(mg dm ⁻³)	23,9 a	31,5 ab	34,0 bc	23,2 a	2,88	0,0491

Medias seguidas por la misma letra, en cada fila, no difieren significativamente a nivel de 5%, por el test LSD.

El análisis de varianza (Tabla 1 y 2) indicó que, en los dos suelos estudiados, ninguna de las variables seleccionadas consiguió, en forma independiente, discriminar los cuatro sistemas de uso. El test de comparación de medias discriminó, como máximo, tres sistemas de uso de las tierras. Eso ocurrió por medio de las variables pH, K, Cu, Mn y B para el Argiudol Ácuico y, a través del pH, H, S, %S/T, Cu, P, K, Fe y B para el Argiudol Típico.

Para el Argiudol Ácuico, el sistema de vegetación virgen (Vn) fue separado de los otros sistemas a través de las siguientes variables: pH, P, MO, K, Cu, Mn, Fe e B, mientras que para el Argiudol Típico, esa separación ocurrió por medio de las variables pH, P, H, S, %S/T, Zn, Fe e B. En el Argiudol Típico, los sistemas de uso Ag, Ge, y Gi fueron discriminados únicamente por el K, mientras que en el Argiudol Ácuico, ningún atributo químico fue eficiente para separar esos sistemas.

En los dos suelos estudiados, la actividad agropecuaria (Ag, Ge y Gi) provocó reduc-

ción significativa en los contenidos de P, MO y Zn, en relación con los valores encontrados en el sistema Vn. La disminución significativa del tenor de MO verificado en los sistemas Ag, Ge y Gi y, principalmente, en el Argiudol Ácuico es un indicador de degradación del suelo la que, aparentemente, fue inducida por la actividad agropecuaria. La reducción del contenido de nutrientes en los suelos y la degradación de los atributos físicos, generada por intensificación de los sistemas de uso, son mencionadas en varios trabajos (Constantini et al., 1996; Maddonni et al., 1999; Quiroga et al., 1998), inclusive en la área estudiada (Orellana y Pilatti, 1994; Orellana et al., 1997; Imhoff et al., 1996). Mayores contenidos de Cu y Mn pueden estar relacionados con los menores contenidos de MO, ya que la mineralización de la MO libera esos cationes metálicos, los que generalmente se encuentran adsorbidos en los sitios de intercambio catiónico (Marschner, 1995) o complejados. De forma semejante, los menores contenidos de S en el Argiudol Típico pueden estar rela-

cionados con la disminución de MO de ese suelo. La reducción de los valores de pH, verificada en el Argiudol Ácuico, puede estar asociada con la disminución del contenido de bases, posiblemente debido a la extracción realizada por los cultivos.

Los resultados indican que el ANOVA no permitió identificar atributos químicos que posibiliten una separación eficiente de los cuatro sistemas analizados, a pesar de haber detectado la ocurrencia de alteraciones en los niveles de algunos de ellos en las dos series de suelos estudiadas.

Resultados del ADC

El análisis discriminante canónico permitió definir funciones canónicas que posibi-

litaron la separación de los cuatro sistemas de uso de las tierras. Eso puede ser verificado por medio de las distancias de Mahalanobis (D^2), mostradas en la Tabla 3.

Los valores de D^2 indicaron que las mayores distancias ocurrieron entre Ge e Vn, para el Argiudol Ácuico y, entre Ag y Vn, para el Argiudol Típico. Considerando los sistemas agropecuarios, las mayores distancias fueron constatadas entre Ag y Ge y, entre Ag y Gi, para el Argiudol Ácuico y Típico, respectivamente. En la Tabla 4 los niveles de probabilidad para D^2 demuestran que las medias multivariadas fueron diferentes entre los sistemas de manejo.

Las distancias entre los sistemas Ag y Gi y, entre Gi y Ge, para el Argiudol Ácuico,

TABLA 3. Valores de la distancia Mehalanobis (D^2) entre los sistemas de uso de las tierras.

Argiudol Ácuico				
Uso	Ag	Gi	Ge	Vn
Ag	0	16,1449	54,3221	118,9014
Gi	16,1449	0	20,9481	116,3801
Ge	54,3221	20,9481	0	136,4869
Vn	118,9014	116,3801	136,4869	0
Argiudol Típico				
Uso	Ag	Gi	Ge	Vn
Ag	0	65,0529	38,7877	134,1986
Gi	65,0529	0	18,4041	44,6498
Ge	38,7877	18,4041	0	53,8367
Vn	134,1986	44,6498	53,8367	0

TABLA 4. Niveles de probabilidad para la distancia de Mahalanobis (D^2).

Argiudol acuico				
Uso	Ag	Gi	Ge	Vn
Ag	1,0000	0,0057	0,0001	0,0001
Gi	0,0057	1,0000	0,0011	0,0001
Ge	0,0001	0,0011	1,0000	0,0001
Vn	0,0001	0,0001	0,0001	1,0000
Argiudol Típico				
Uso	Ag	Gi	Ge	Vn
Ag	1,0000	0,0001	0,0001	0,0001
Gi	0,0001	1,0000	0,0026	0,0001
Ge	0,0001	0,0026	1,0000	0,0001
Vn	0,0001	0,0001	0,0001	1,0000

fueron relativamente pequeñas, siendo significativas apenas a nivel de $p < 0,001$ y $p < 0,01$, respectivamente. Para el Argiudol Típico, la menor distancia ocurrió entre Gi y Ge, que fue significativa apenas a nivel de 5% de probabilidad.

La discriminación de los sistemas de uso, comprobada por los valores de D^2 , es consecuencia de los diferentes contenidos de nutrientes existentes en los diversos suelos. Los mayores valores de D^2 entre los sistemas cultivados (Ag, Ge y Gi) y el sistema de vegetación virgen (Vn) sugieren que los tres sistemas de manejo provocaron degradación de las propiedades químicas de los suelos analizados, aunque con diferencias de magnitud entre ellos en lo que respecta a la pérdida de fertilidad.

En el Argiudol Ácuico, la mayor distancia entre Vn y Ge indica que este sistema provocó una degradación más intensa de los atributos químicos, cuando se compara con los sistemas Ag y Gi. Una posible explicación para esos resultados es que en el sistema Ge, por ser un sistema de pastoreo extensivo realizado sin aplicación de fertilizantes ni rotación de los animales, existe una gran exportación de nutrientes fuera de los potreros y/o, en algunos casos, concentración de nutrientes en ciertas áreas (por ejemplo cerca de bebederos) (Haynes y Willians, 1993). Los sistemas Ag y Pi provocaron menor degradación de las propiedades químicas debido, posiblemente, a un mayor reciclado de nutrientes vía residuos de cosecha, rotación de cultivos, pastoreo rotativo y deyecciones de los animales.

En el caso del Argiudol Típico, la pérdida de calidad del suelo, mayor en el sistema Ag, puede estar asociada a la realización prolongada de la secuencia de cultivos trigo / soja, sin fertilización. La proximidad de los sistemas Ge y Gi con el sistema Vn es un reflejo de la mejora en las propiedades químicas del suelo provocada por la incorporación de fertilizantes, la que fue mayor en el sistema Gi. Mayor degradación de la calidad

del recurso suelo con la intensificación de los sistemas fue mencionada por varios autores (Constantini et al., 1996; Imhoff et al., 1996; Maddoni et al., 1999; Michelena et al., 1989).

El estadístico lambda de Wilk's indicó que las funciones canónicas contribuyeron significativamente para la separación de los diversos sistemas de manejo, en los dos suelos (Argiudol Ácuico: Wilk's lambda = 0,0025, $F = 9,554$, $p > F = 0,001$; Argiudol Típico: Wilk's lambda = 0,0033, $F = 8,6010$, $p > F = 0,001$).

La correlación canónica al cuadrado demostró que, para los dos suelos, las dos primeras funciones (Can 1 y Can 2) están altamente correlacionadas con los atributos químicos analizados. Cuando se observó la proporción de las raíces características y la proporción acumulada de las raíces características (Tabla 5) se verificó que las dos primeras funciones representan 97% y 93% de la varianza total para el Argiudol Ácuico y el Argiudol Típico, respectivamente. La primera función canónica (Can 1) explicó 74% (Argiudol Ácuico) y 77% (Argiudol Típico) de esa varianza. Estos resultados coinciden con la premisa básica del ADC, que establece que las primeras funciones canónicas deben expresar la máxima variación entre los tratamientos (Afifi y Clark, 1994).

Los resultados del teste LRT (Tabla 5) demostraron que, para el Argiudol Ácuico, solamente las funciones Can 1 y Can 2 fueron significativas ($p < 0,0001$). Sin embargo, para el Argiudol Típico la función Can 3 también fue significativa ($p = 0,0052$). Como esa función explicó apenas 7% de la varianza de los datos, no fue incluida en este estudio. El análisis de varianza de las funciones canónicas Can 1 y Can 2 (Tabla 5) también demostró que sólo las dos primeras funciones canónicas realizaron una mejor separación de los sistemas de manejo. Para el Argiudol Ácuico, las funciones canónicas Can 1 y Can 2 separaron tres sistemas, siendo que la función Can

TABLA 5. Análisis discriminante canónico de los sistemas de uso en los dos suelos estudiados

Función Canónica	Eigenvalue	Proporción del autovalor	Proporción acumulada del autovalor	Cuadrado de la correlación canónica	Likelihood Ratio Test	p>F
Argiudol Ácuico						
Can 1	23,81	0,74	0,74	0,96	0,0025	0,0001
Can 2	7,45	0,23	0,97	0,88	0,0624	0,0001
Can 3	0,89	0,03	1,00	0,47	0,5273	0,1380
Argiudol Típico						
Can 1	19,02	0,77	0,77	0,95	0,0037	0,0001
Can 2	3,83	0,16	0,93	0,79	0,0739	0,0001
Can 3	1,81	0,07	1,00	0,64	0,3563	0,0052

3 discriminó apenas dos sistemas. Para el suelo Argiudol Típico, la Can 1 fue capaz de separar los cuatro sistemas de uso estudiados, mientras que la Can 2 diferenció tres sistemas y la Can 3 solamente dos.

La contribución de las variables (atributos químicos) a las dos primeras funciones canónicas (Can 1 y Can 2) es mostrada a través de los coeficientes canónicos estandarizados, presentados en la Tabla 7. Estos coeficientes reflejan la contribución conjunta de las variables analizadas para cada función canónica (Rencher, 1992) e, individualmente, indican la importancia relativa de cada variable.

La distribución espacial de los valores de Z para cada muestra analizada y la posición de los centros, establecidos a partir de las

propiedades químicas medidas, demuestran una diferente separación entre los sistemas de uso estudiados (Figuras 1 y 2).

La asociación entre los coeficientes canónicos estandarizados de las variables analizadas y los sistemas de uso de la tierra es mostrada en las Figuras 1 y 2. En esas Figuras, las variables estudiadas y los valores de los centros de cada sistema de uso fueron proyectados en un espacio definido por las funciones canónicas Can 1 y Can 2. La dirección de los vectores indica la asociación de cada variable con un sistema de manejo, o sea, cada vector apunta para el sistema que posee el mayor nivel medio para esa variable en dicho espacio. La magnitud de cada vector muestra la importancia de cada atributo químico

TABLA 6. Valores medios de las funciones canónicas para los cuatro sistemas de uso de las tierras.

Función Canónica	Argiudol Ácuico			
	Uso			
	Ag	Gi	Ge	Vn
Can 1	- 2,11 b	- 2,67 bc	- 3,20 c	7,99 a
Can 2	- 3,64 c	- 0,37 b	3,64 a	0,37 b
Can 3	- 0,81 b	1,46 a	- 0,66 b	0,01 b
Argiudol Típico				
Can 1	5,88 a	- 0,97 c	0,77 b	- 5,68 d
Can 2	- 1,44 c	2,79 a	0,55 b	- 1,89 c
Can 3	- 0,78 b	- 1,05 b	2,16 a	- 0,33 b

Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente a nivel de 5%, por el test LSD.

TABLA 7. Coeficientes canónicos estandarizados de los atributos químicos evaluados.

Variable	Argiudol Ácuico		Argiudol Típico	
	Can 1	Can 2	Can 1	Can 2
pH	-0,14	-0,02	0,95	-0,16
MO	1,16	1,30	0,23	0,46
P	3,86	-0,18	-1,13	0,76
K	2,08	0,67	-0,95	1,60
Ca	-0,84	0,22	-3,39	0,26
Mg	-0,34	-0,77	1,42	0,29
H+Al	1,13	1,10	6,46	-3,44
S-SO ₄	-0,06	-0,61	-2,01	0,10
%S/T	1,44	0,92	6,38	-2,11
Cu	2,50	-1,81	-2,21	1,05
Zn	-2,20	-1,61	2,24	-0,75
Mn	-1,93	1,34	0,45	-0,38
Fe	-0,14	1,17	1,06	0,24
B	-0,36	0,25	-0,87	-1,33
Na	-0,22	1,48	0,06	0,84

mico (variable) como factor de discriminación de los sistemas de uso.

En el Argiudol Ácuico (Fig.4), las propiedades químicas que más contribuyeron para la discriminación de Vn de los demás sistemas de manejo fueron P, Cu, K, %S/T, MO y H. Los atributos más relevantes en la separación de Ge de los sistemas Ag y Gi fueron Mn, Na y Fe, mientras que Ag y Gi fueron separados por el Zn. En el Argiudol Típico (Fig. 3), la

magnitud de los vectores %S/T, H y Zn indica que esas fueron las propiedades químicas más importantes para separar el sistema Ag de los demás, mientras que Mg y Na fueron efectivos para discriminar el sistema Ge del sistema Ag. Los sistemas Vn y Gi fueron separados de los otros sistemas por Ca, Cu, K, S, P y B. Entretanto, este último nutrimento fue la variable más importante para separar el sistema Vn de los demás.

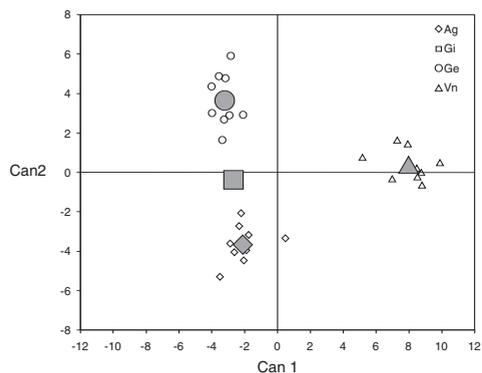


FIGURA 1. Observaciones individuales de las dos primeras funciones discriminantes canónicas y posición de los centros para cada sistema de uso de las tierras en el Argiudol Ácuico (Serie Humboldt).

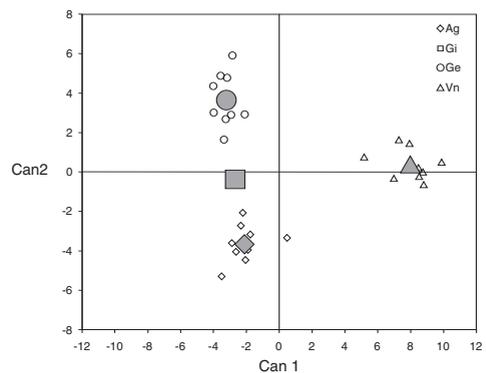


FIGURA 2. Observaciones individuales de las dos primeras funciones discriminantes canónicas y posición de los centros para cada sistema de uso de las tierras en el Argiudol Típico (Serie Rincón de Ávila).

En general, los resultados sugieren que P, K y Ca, y Zn y Cu fueron los macro y micro-nutrientes más sensibles a las condiciones de manejo. Estos resultados coinciden con los

encontrados por otros autores. Así, por ejemplo, la intensificación de los sistemas de manejo ocasionó mayor alteración del contenido de P (Vásquez et al., 1991) y, de P, K,

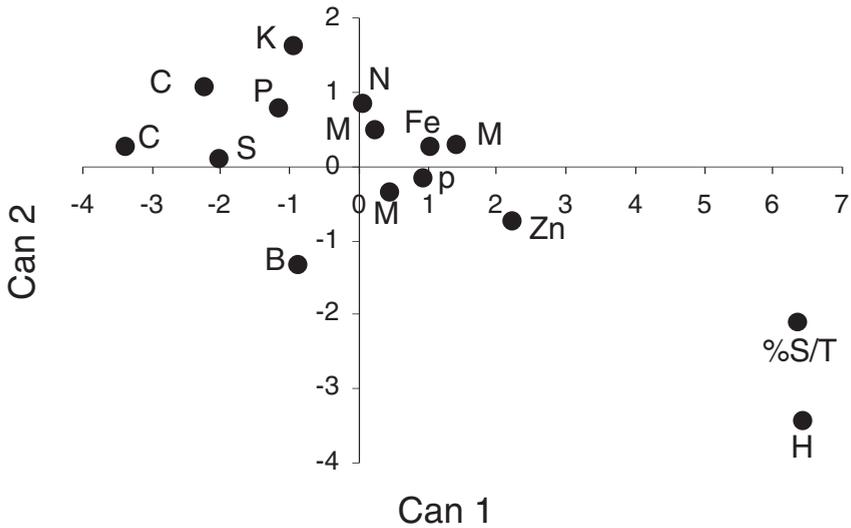


FIGURA 3. Contribución relativa de las variables estudiadas para la discriminación de los sistemas de uso de las tierras en el Argiudol Típico (Serie Rincón de Ávila).

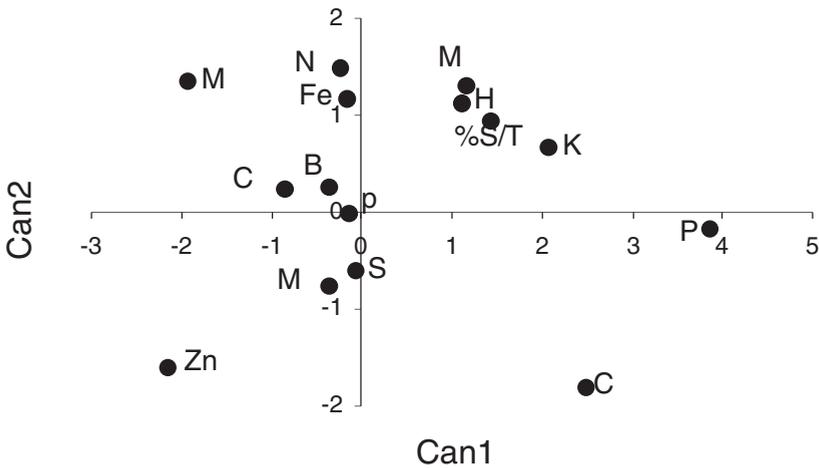


FIGURA 4. Contribución relativa de las variables estudiadas para la discriminación de los sistemas de uso de las tierras en el Argiudol Ácuico (Serie Humboldt).

Mg, B, Zn y nitrógeno total (Maddoni et al., 1999). Los resultados parecen indicar que P, K, Mg, Ca, Zn, Cu y B podrían ser utilizados como indicadores de calidad de suelo para Argiudoles.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que el ADC identificó mayor número de variables útiles para discriminar los sistemas Ag, Ge, Gi y Vn con relación al análisis ANOVA. Esto indica que este último tipo de análisis estadístico posee una capacidad limitada para separar diversos sistemas de uso de las tierras a partir de la información brindada por análisis de los atributos químicos del suelo. El ADC parece ser una técnica estadística más efectiva para el estudio de sistemas complejos, especialmente cuando utilizada en estudios similares al presentado en este trabajo, lo que ya fue señalado por otros autores (Cruz-Castillo et al., 1994; Maddoni et al., 1999; Ortega et al., 1998; Quiroga et al., 1998). El ADC puede ser aplicado, con ventajas sobre el ANOVA, para identificar los atributos más sensibles a las prácticas de manejo, facilitando la elección de indicadores de calidad de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Profesores de la Fac. de Ciencias Agrarias (UNL) Ghiberto, Orellana y Quaino por las sugerencias y correcciones realizadas.

REFERENCIAS

Afifi, A.A. y Clark, V. (1996): *Computer-Aided Multivariate Analysis*. 3ed. Chapman & Hall, London, 455 p.
Benites, J., Saintraint, D., Morimoto, K. (1994): Degradación de tierras y producción agrícola en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay. En <<Erosión

de suelos en América Latina>>, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe (Eds.). Santiago, Chile, 219 p.

- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H., Pierce, F.J. (1997): Concepts of soil quality and their significance. En <<Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science 25>>, E.E. Gregorich and M.R. Carter (Eds), Amsterdam, 21-58.
Costantini, A., Cosentino, D., Segat, A. (1996): Influence of tillage systems on biological properties of a Typic Argiudoll soil under continuous maize in central Argentina. *Soil Tillage Res.* 38, 265-271.
Cursak de Castigniani, A.M., Guiguet, E., Bevilacqua, M., Giorgis, R., Correnti, M., Ramunno, J.N., Alesso, J.C. (1994): Caracterización del Departamento Las Colonias (Pcia de Santa Fe). Rafaela, Comisión de Desarrollo Tecnológico Agropecuario (CODETEA), 27 p.
Cruz-Castillo, J.G., McKay, R., Lawes, G.S., Woolley, D.J. (1992): Canonical discriminant analysis in kiwifruit rootstock research. *Acta Horticulturae* 313, 143-148.
Cruz-Castillo, J.G., Ganeshanandam, S., Mackay, B.R., Lawes, G.S., Lawoko, C.R.O., Woolley, D.J. (1994): Applications of Canonical Discriminant Analysis. *Hortscience* 29, 1115-1119.
Derksen, D.A., Lafond, G.P., Thomas, A.G., Loeppky, H.A., Swanton, C.J. (1993): Impact of agronomic practices on weed communities: Tillage Systems. *Weed Sci.* 41, 409-417.
Donahue, J.K. y Upton, J.L. (1996): Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus Greggii* in Native Forests. *For. Ecol. Manag.* 82, 145-157.

- Gilbert, R.P., Bailey, D.R.C., Shannon, N.H. (1993): Linear body measurements of cattle before and after 20 years of selection for postweaning gain when fed two different diets. *J. Anim. Sci.* 71, 1712-1720.
- Hatcher, L. y Stepanski, E.J. (1994): A step by step approach to using the SAS system for univariate and multivariate statistical analysis. SAS Institute Inc., Cary, NC, 552 p.
- Haynes, R.J. y Williams, P.H. (1993): Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Adv. Agronomy* 49, 119-199.
- Heil, D. y Sposito, G. (1997): Chemical attributes and processes affecting soil quality. In <<Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science 25>>, E.E. Gregorich and M.R. Carter (Eds), Amsterdam, 59-79.
- Imhoff, S., Pilatti, M.A., Sosa, M.E. (1996): Nitrógeno orgánico en Molisoles del centro de Santa Fe. *Rev. Fac. Agr. y Vet. Esperanza, UNL* 9, 10-18.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1991): Carta de Suelos de la República Argentina. Hojas 3160-25 y 26, Esperanza-Pilar. INTA, Rafaela, 135 p.
- Maddonni, G.A., Urricariet, S., Ghera, C., Lavado, R. (1999): Assessing soil quality in the rolling Pampa, using soil properties and maize characteristics. *Agron. J.* 91, 280-287.
- Manly, B.F.J. (1994): Multivariate Statistics Methods - A Primer. 2ed., Chapman & Hall, London, 226 p.
- Marschner, H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ed. Acad. Press Limited, London, 889 p.
- Michelena, R.O., Irurtia, C.B., Vavruska, F.A., Mon, R., Pittaluga, A. (1989): Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. En <<Proyecto de Agricultura Conservacionista. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe>>. INTA (eds), *Publ. Técnica* 6.
- Mosconi, F., Priano, L., Hein, N., Moscatelli, G., Salazar, J.L., Gutierrez, T., Caceres, L. (1981): Mapa de Suelos de la Provincia de Santa Fe. INTA-MAG, 246 p.
- Nolin, M.C., Wang, C., Caillier, M.J. (1989): Based on selected soil characteristics of the plow layer. *Can. J. Soil Sci.* 69, 525-541.
- Orellana, J. y Pilatti, M.A. (1994): La estabilidad de los agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Cía. Suelo* 12, 75-80.
- Orellana, J., Pilatti, M.A., Grenón, D.A. (1997): Soil quality: an approach to physical state assesment. *J. Sust. Agric.* 9, 91-108.
- Ortega, I.M., Soltero-Gardea, S., Bryant, F.C., Drawe, D.L. (1997): Evaluating grazing strategies for cattle: deer and cattle food partitioning. *J. Range Manag.* 50, 622-630.
- Pilatti, M.A. y Grenón, D.A. (1994). La profundidad enraizable de los suelos. Su estimación a partir de información edáfica. *Rev. Fac. Agr. y Vet. Esperanza, UNL*, C-003-AD-003, 29 p.
- Quiroga, A.R., Buschiazio, D.E., Peinemann, N. (1998): Management discriminat properties in semiarid soils. *Soil Sci.* 163, 591-597.
- Raij, B. van. (1998): Bioavailable test: alternatives to standardt soil extractions. *Commun. Soil Sci. Plan.* 29, 1553-1570.
- Rencher, A.C. (1992): Interpretation of canonical discriminat functions, canonical variates and principal components. *Am. Statistician* 46, 217-225.
- Statistical Analysis System Institute. (1991): Sas/Stat Procedure Guide for Personal Computers. Version 5 ed. Sas Inst., Cary, Nc., 1104 p.
- Vaselli, O., Buccianti, A., de Siena, C., Bini, C., Coradossi, N., Angelone, M. (1997):

- Geochemical characterization of ophiolitic soils in a temperate climate: a multivariate statistical approach. *Geoderma* 75, 117-133.
- Webster, R. y Oliver, M.A. (1990): Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press, New York, 316 p.
- Wit, J., Oldenbroek, H., Van Keulen, H., Zwart, D. (1995): Criteria for sustainable livestock production: a proposal form implementation. *Agric. Ecosyst. Env.* 53, 219-229.

SUELOS DESARROLLADOS SOBRE ARENAS RESIDUALES Y ARENAS EÓLICAS EN MALLORCA

M.T. DE LA CRUZ CARAVACA, J. BALAGUER SIQUIER y J. HERNANDO COSTA

Dpto. de Edafología. Fac. de Farmacia. Univ. Complutense. 28040 Madrid.

Abstract. In this paper we study arenosols developed from accumulative dunes of marine origin in coast areas and we difference them from the scarce arenosols of residual sands. These ones present different characteristics not only in their physiography, parent material, rocks content but also in the equivalent CaCO_3 , iron, etc. It is also observed a difference in between the mineralogy of the arenosols of the north area from the ones developed in the south coast.

Key words: Arenosoles, Mallorca

Resumen. Se estudian Arenosoles desarrollados a partir de dunas de acumulación de origen marino, en zonas costeras y se diferencian de los escasos Arenosoles formados a partir de arenas residuales. Estos presentan características diferenciadas tanto en su fisiografía como en el origen del material de partida, contenido en fragmentos rocosos, textura, CaCO_3 equivalente, hierro, etc. Asimismo en los Arenosoles formados a partir de las dunas se observa la diferencia mineralógica entre los situados de la zona norte y los desarrollados en la costa sur.

Palabras clave: Arenosoles, Mallorca

INTRODUCCIÓN

Mallorca es la mayor de las islas del archipiélago Balear, con una litología de naturaleza calcárea, dominando fundamentalmente calizas, dolomías, calcarenitas y margas.

La tipología de los suelos de la isla es poco conocida. En los escasos trabajos que aparecen en la bibliografía, se citan suelos pardo calizos y suelos rojos en los mapas de cultivos y aprovechamiento agrícola de 1986 y 1988. Entre los trabajos de carácter general cabe destacar el de Klinge y Mella (1958), Bech (1976), pero a nivel de detalle, Balaguer (1998) señala la existencia de Leptosoles réndricos, eútricos, móllicos y líticos, como suelos dominantes en la sierra

de Llevant, asimismo Balaguer et al. (1997) mencionan la aparición de Phaeozems calcáricos en el Puig de Sant Salvador (Felanitx) y Cambisoles calcáricos en el término municipal de Artà (Balaguer et al. 1995).

En el presente trabajo se estudian Arenosoles calcáricos en la isla de Mallorca desarrollados a partir de arenas residuales (arenas que proceden de la alteración de calizas, transportadas por el agua y depositadas sobre calcarenitas), y arenas eólicas, de grano fino a medio, del Holoceno, depositadas en zonas de playa, que llegan a superar, en algunos casos, la profundidad de 25 m (IGME 1991). Los depósitos eólicos fósiles y actuales adquieren gran desarrollo en zonas próximas a la costa y hacia el interior, estando los

ejemplos más completos en la costa sur (playa de Es Trenc).

Los Arenosoles situados en el noreste de la isla presentan una vegetación diferenciada de los Arenosoles de la zona suroeste (playa de Es Trenc). En los del norte predominan formaciones boscosas de pinos asociados con acebuches, y en el sur la vegetación litoral corresponde a bosquetes de enebros y sabinas y tomillares de dunas con gramales de dunas embrionarias.

Todos estos suelos se desarrollan bajo un clima típicamente mediterráneo con veranos acusadamente áridos, siendo la temperatura media anual, en las zonas litorales, de 16-18°C y produciéndose las máximas precipitaciones en otoño.

MATERIAL Y MÉTODOS

En la zona noreste se han seleccionado suelos desarrollados sobre arenas residuales (PB 2), situado en el interior, en el Barranco de Sa Canova (término municipal de Artà), y suelos desarrollados sobre arenas eólicas del Holoceno (PB 28 y PB 29) en Cala Rajada (término municipal de Capdepera).

En la zona sur se tomaron suelos en el término municipal de Campos, en la playa de Es Trenc (PB 20, PB 21 y PB 22), desarrollados igualmente sobre arenas eólicas recientes.

Los métodos empleados en el análisis de pH, materia orgánica, CaCO_3 equivalente y extracción de arcillas con eliminación de materia orgánica, saturación en Mg y K, solvatación con etilenglicol, y calcinados a 550°C, son los recomendados por ISRIC 1993. La identificación de los minerales de arcilla se realizó por difracción de rayos X, con un equipo Philips PW 1710 de radiación de cobre. Los análisis químicos se han llevado a cabo con ácido perclórico y fluorhídrico en compresores phaxe 2000 y posterior disolución con HCl 6N. Los cationes divalentes, Ca^{2+} y Mg^{2+} , se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, y los monova-

lentes, K^+ y Na^+ , por fotometría de llama. El hierro libre se obtuvo mediante extracción con reactivo de Tamm, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (Douchaufour y Souchier, 1966), las formas amorfas y cristalinas con HCl 8N (Segalen 1968).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Mallorca son comunes los Arenosoles desarrollados a partir de dunas de acumulación de arenas de origen marino, en zonas costeras. Son muy escasos los formados a partir de arenas residuales, ya que en la mayoría de los casos, este material no proporciona el espesor necesario para formar Arenosoles. Estos presentan características diferenciales acusadas respecto a los anteriores que merecen ser destacadas: distancia de la costa, pendiente moderadamente escarpada, origen del material de partida, contenido en fragmentos rocosos (menos del 35%), menor contenido en CaCO_3 equivalente (tabla 1), mayor contenido en hierro libre, originando una relación Fe_2O_3 Libre / Fe_2O_3 Total muy elevada, debido a que estas arenas son producto de alteración de calizas, y por último, textura arenoso-franca, límite inferior que establece FAO para Arenosoles, esta granulometría puede estar condicionada por la acusada pendiente y gran permeabilidad que favorece la pérdida de parte de la fracción fina.

El análisis químico (tabla 2) pone de manifiesto la diferencia entre la roca (marés) y el material arenoso depositado sobre la misma, existiendo un predominio de SiO_2 , K_2O y Na_2O en los horizontes organominerales, y una disminución de óxidos de calcio, hierro y aluminio, lo que confirma que no existe relación edafogénica entre la roca y el material superpuesto. Por otra parte, los fragmentos rocosos encontrados junto a las arenas residuales son de naturaleza caliza.

Las cantidades de hierro libre son similares en ambos horizontes, predominando las

TABLA 1. Datos analíticos de los suelos.

Perfil	Horiz	Prof. (cm)	Textura	%C	%N	C/N	% CaCO ₃ equival.	pH	Ca ²⁺ (cmol/Kg)	Mg ²⁺ (cmol/Kg)	K ⁺ (cmol/Kg)	Na ⁺ (cmol/Kg)	S (cmol/Kg)	T (cmol/Kg)	V
PB 2	Ah1	0-10	Are-Fr	7,23	0,39	18,18	68,95	7,70	52,45	4,52	0,95	0,73	58,63	25,58	S
	Ah2	10-110	Are-Fr	5,50	0,37	14,53	66,78	7,70	60,00	4,27	0,81	0,54	65,62	22,57	S
	2R	+110	-	-	-	-	93,60	-	-	-	-	-	-	-	-
PB28	Ah	0-30	Are	1,74	0,12	14,26	77,67	7,10	54,00	5,01	1,38	0,64	61,03	7,90	S
	AC	30-115	Are	1,65	0,06	24,26	87,88	7,15	84,03	6,08	1,22	1,61	92,94	8,23	S
PB29	Ah	0-25	Are	2,33	0,11	20,09	82,06	7,30	74,00	10,93	1,07	1,61	87,61	13,33	S
	AC	25-110	Are	1,33	0,06	21,80	87,82	7,10	49,00	8,50	0,25	1,41	59,16	9,83	S
PB20	Ah	0-10	Are	0,30	0,02	14,28	91,92	8,00	27,10	5,02	0,65	0,60	33,37	4,02	S
	C	10-110	Are	-	-	-	93,92	7,20	25,26	5,17	0,60	0,53	32,55	3,57	S
PB21	Ah	0-30	Are	2,89	0,15	19,21	83,19	7,20	30,00	8,50	0,38	1,59	40,47	22,32	S
	C1	30-60	Are	-	-	-	88,08	7,00	26,00	5,15	0,25	1,50	32,90	8,44	S
PB22	C2	60-120	Are	1,32	0,08	16,50	91,84	7,00	27,20	5,42	0,27	1,51	34,40	12,17	S
	Ah	0-15	Are	4,21	0,27	15,20	83,01	8,00	30,50	13,98	0,40	1,10	45,98	19,48	S
C1	C1	15-30	Are	1,22	0,04	25,96	89,62	7,90	28,80	6,76	0,31	1,41	37,28	10,38	S
	C2	30-115	Are	-	-	-	92,66	7,90	28,21	6,53	0,41	1,51	36,66	13,15	S

TABLA 2. Análisis químico (%) y diferentes formas de hierro (%) del perfil PB-2

Perfil	Horizonte	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PPC
PB 2	Ah1	26,54	2,60	1,10	31,00	0,50	2,50	1,44	34,32
	Ah2	27,75	1,45	1,10	31,54	0,71	1,38	1,15	34,92
	2R	8,34	2,86	2,02	40,46	0,59	0,06	0,85	44,79

Perfil	Horizonte	Fe ₂ O ₃ Total	Fe ₂ O ₃ Libre	Reticular	Amorfo	Cristalino	Fe ₂ O ₃ L/ Fe ² O ₃ T
PB 2	Ah1	1,10	0,90	0,20	0,42	0,48	81,81
	Ah2	1,10	1,00	0,10	0,42	0,58	90,90
	2R	2,05	-	-	-	-	-

formas cristalinas sobre las amorfas, lo que Balaguer et al. (1999) interpretan como una posible indicación de materiales edafizados antiguos, que han sido erosionados y transportados.

En los Arenosoles calcáricos desarrollados a partir de arenas eólicas (perfiles PB 20, PB 21, PB 22, PB 28 y PB 29), los contenidos de óxido de hierro total son muy bajos, por lo que no se han reseñado, y no existe hierro libre, lo que pone de manifiesto la escasa alteración de estos suelos.

Los contenidos de carbono orgánico son variables, dependiendo del tipo y densidad de vegetación que soportan los suelos; las relaciones C/N (tabla 1) superan en todos los casos el valor 14, definiendo un humus tipo mull-moder y moder; la incorporación de la materia orgánica es importante en profundidad. En la zona sur algunos Arenosoles (PB 21 y PB 22) presentan, en los horizontes más profundos, colores ligeramente más oscuros que los horizontes inmediatamente suprayacentes, lo que podría interpretarse como resultado de la emigración de compuestos orgánicos con formación de un horizonte álbico, morfológicamente definido. Sin embargo, teniendo en cuenta el pH y el contenido de calcio no es posible la movilización

de materia orgánica; la formación del horizonte decolorado se debe a la mineralización rápida de la materia orgánica en un medio muy aireado, mientras que en profundidad el mayor empaquetamiento de las partículas de arena mantiene más humedad y frena el proceso de mineralización.

La mineralogía de arcillas pone de manifiesto diferencias entre los Arenosoles de la zona norte y sur; en estos últimos, los minerales dominantes son mica, illita y caolinita, con marcada presencia de clorita, mientras que en aquellos disminuye considerablemente el contenido de mica, illita y caolinita, desapareciendo la clorita. En los minerales de arcilla no laminares se observa un aumento de cuarzo en los Arenosoles de la zona sur. En ambas zonas predominan los procesos de herencia.

CONCLUSIONES

Tanto los suelos desarrollados sobre arenas residuales como los desarrollados sobre arenas eólicas son Arenosoles calcáricos, sin embargo, los primeros aparecen en zonas interiores de la isla y los segundos en zonas costeras, a partir de dunas formadas por acumulación de arenas de origen marino. El dis-

tinto origen del material de partida determina marcadas diferencias.

La evolución de estos suelos está frenada por el rejuvenecimiento que provoca el continuo aporte de materiales; no obstante, sobre arenas residuales, los suelos se sitúan en el límite de Arenosoles con clara tendencia hacia Regosoles, cuando no cumplen las condiciones de espesor, o Cambisoles, cuando el material se estabiliza.

REFERENCIAS

- Balaguer Siquier, J., Hernando Costa, J. y de la Cruz Caravaca, M. T (1995) Características de suelos del noreste de Mallorca. En *Degradación y Conservación. de suelos*. Ed. Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia U C M.: 72-80.
- Balaguer Siquier, J., de la Cruz Caravaca, M. T. y Hernando Costa, J. (1997). Influencia de la pendiente en la formación de Phaeozems en el Puig de Sant Salvador (Felanitx, Mallorca). *Edafología*: 3-1: 301-308.
- Balaguer Siquier, J. (1998) Suelos de la Serra de Llevant (Mallorca). Tesis doctoral Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia U C M.
- Balaguer Siquier, J., de la Cruz Caravaca, M. T. y Hernando Costa, J. (1999). Soils developed on ancient "terra rossa" at the east of the island of Majorca. En *6th International meeting on soils in the Mediterranean type of climate*. Barcelona:382-383
- Bech, J. (1976): Sinopsi dels sòls dels Països Catalans. *Bull. Inst. Hist. Nat.*40: 31-44.
- Duchaufour, Ph y Souchier, B. (1966). *Cience du sol* 1. Paris.
- FAO (1977): Guías para la descripción de perfiles. Roma. Ed. FAO.
- FAO (1988): Revised legend of the FAO-UNESCO soil map of the world (Provisional edition of the final text). ISRIC. Wageningen.
- IGME (1991): Mapa geológico de España E 1: 50000. Hoja 672. Artà.
- IGME (1991): Mapa geológico de España E 1: 50000. Hoja 724. Lluchmajor.
- ISRIC (1993): Procedures for soil analysis. Wageningen. Ed. FAO.
- Klinge, H. y Mella, A. (1958): Los suelos de Baleares. *An. de Edaf. y Fis. Veg.* 17: 57-92.
- Ministerio de Agricultura (1988): Mapa de cultivos y aprovechamientos. E 1:50000. Hoja 672. Artà. Publicaciones agrarias pesqueras y alimentarias. Madrid.
- Ministerio de Agricultura (1988): Mapa de cultivos y aprovechamientos. E 1:50000. Hoja 624. Lluchmajor. Publicaciones agrarias pesqueras y alimentarias. Madrid.
- Ministerio de Agricultura (1988): Mapa de cultivos y aprovechamientos de la provincia de Baleares. E 1:200000. Publicaciones agrarias pesqueras y alimentarias. Madrid.
- Segalen, P (1968): Note sur un methode de determination des produits mineraux amorphes dans certains sols a hidroxides tropicaux. *Cahier ORSTOM*, ser Ped 105-126. Vol. VI n1

INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE QUEMADO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO DESPUÉS DE UN INCENDIO FORESTAL

X. ÚBEDA

GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània) Dpto. Geografia Física i AGR. Facultat de geografia i Història. Universitat de Barcelona. C/ Baldiri Reixac s/n. 08028 Barcelona.

Abstract. In this paper the changes in the soil after a forest fire are analysed according to some parameters. The particle size, and other soil parameters are affected in a different way depending on the intensity of the fire. Three zones were distinguished within a burned area and the results were compared with the results of a unburned control area. The amount of sand decreases with temperature, silt and clay increase depending on fire intensity. There was an increase of carbon in the low and medium intensity fire area and a general decrease of nitrogen. The potassium content increases in all zones and phosphorous only in the higher intensity zone. Calcium decrease in the low intensity area and magnesium decrease in all the zones.

Key words: Wild fire, Fire intensity, Soils, Physical and chemical changes

Resumen. En este artículo se analizan los cambios en algunos parámetros del suelo después de un incendio forestal. La textura del suelo y otros parámetros son afectados de diferente modo dependiendo de la intensidad alcanzada por el fuego en distintas zonas de un área afectada por un incendio. Se delimitaron tres zonas y los resultados obtenidos en cada una de ellas fueron comparados con los resultados de una área control sin quemar. Después del fuego hubo una disminución de la fracción arena y un aumento de la fracciones limo y arcilla. También se detectó un aumento de carbono en las zonas menos intensamente quemadas y un descenso general de la concentración de nitrógeno. El contenido de potasio en el suelo aumentó y también la de fósforo, especialmente en las zonas más intensamente quemadas. El calcio disminuyó en la zona de baja intensidad y el magnesio disminuye su concentración en todas las zonas.

Palabras clave: Incendio forestal, Intensidad de fuego, Suelos, Cambios físicos y químicos.

INTRODUCCIÓN

Los suelos que han estado sometidos a una temperatura elevada evidencian, casi siempre, cambios en sus propiedades físicas y químicas. El interés del estudio de la física del suelo reside fundamentalmente en la relación directa que tiene con el estado y la circulación superficial del agua y con la capacidad de almacenamiento de ésta, así como del incremento de escorrentía, que lleva como

resultado una mayor erosión. Además la erosión modifica la respuesta hidrológica en el sentido que genera más escorrentía debido a la desaparición de la capa superior absorbente. Otro aspecto interesante para el estudio de estos cambios es el incremento de material susceptible de ser erosionado a causa de la desestructuración de suelos (Wells, 1981).

Los cambios físicos son atribuidos, en gran medida, a cambios químicos y mineralógicos producidos por el incremento de la tem-

peratura y la pérdida de materia orgánica. Así pues, un cambio en la textura del suelo puede ser debido a la calcinación de hierro y aluminosilicatos a temperaturas suficientemente elevadas (Bemetrioux et al., 1960, Giovannini, 1994).

La tabla 1 resume los cambios que tienen lugar en el suelo dependiendo de la temperatura alcanzada. Hay que tener en cuenta que sólo se considera la temperatura alcanzada, obviando el tiempo de residencia de esta temperatura en el suelo, es decir, sólo se considera uno de los parámetros que definen la intensidad de fuego. Otro aspecto a considerar es

que una misma intensidad de fuego afectará de manera diferente a los primeros centímetros del suelo, siendo los efectos diferentes a más profundidad. De los muchos estudios realizados desde Heyward (1938) hasta Lucchesi et al. (1994) se puede concluir que la temperatura alcanzada en un incendio sólo tiene consecuencias en los primeros cinco centímetros del suelo.

El objetivo de este trabajo es conocer los cambios que experimentan algunos parámetros del suelo tras un incendio forestal y como influye en estos cambios una mayor o menor intensidad de fuego.

TABLA 1. Efectos en el suelo de las diferentes temperaturas. Dimitrakopoulos et al. (1994) ampliada por Úbeda (1998).

Temperatura °C	Efecto en el suelo
50-60	Temperatura letal para el protoplasma de las plantas
100	Descomposición de algunos componentes de nitrógeno del suelo
100-200	Temperatura letal para hongos y bacterias; evaporación del agua
200-300	Pérdida del 50% de nitrógeno. Empieza a disminuir el valor de pH. Desaparición de algunos componentes de la materia orgánica. Aumento de amonio, fósforo, calcio, magnesio y sodio. Descenso de la capacidad de absorber agua del suelo y de su plasticidad. Incremento de la fracción arena. Incremento/disminución de la estabilidad estructural (según autores). Incremento/disminución de la porosidad (según textura)
300	Desaparición por calcinación de la materia orgánica. Formación de una superficie hidrófoba
315	Incremento del pH del suelo. Disminución de la capacidad de intercambio catiónico
315-400	Pérdida del 75% de nitrógeno
400-550	Descenso de calcio, sodio, magnesio, desaparición de amonio, aumento progresivo de potasio. Descenso más drástico de la absorción de agua y de la plasticidad. Desaparición total de los residuos orgánicos
550-700	Dstrucción total de la materia orgánica. Pérdida de los OH de las arcillas, aumento de pH. Aumento de fósforo y potasio. Descenso de la estabilidad estructural
700-900	Oxidación del suelo, cambios irreversibles en las arcillas, descomposición de los carbonatos, incremento de calcio, magnesio, descenso de potasio. Aumento de la absorción de agua pero no de la plasticidad

MATERIAL Y METODOS

Area de estudio

El estudio que se presenta en este artículo está basado en un trabajo realizado sobre un incendio en el macizo de Cadiretes, localizado en el término municipal de Llagostera (Girona). El incendio de “Llagostera” comenzó el mediodía del día 5 de julio de 1994 y fue extinguido en seis horas, quemando un total

de 55 hectáreas del bosque, atribuyendo la causa del incendio a un hecho intencionado.

En la figura 1 se muestra la localización del área incendiada, dentro de la propiedad de Can Noguera, en las montañas de Llobatera. El punto más alto que resultó incendiado se sitúa a 350 m. La carretera que une Llagostera con Tossa de Mar delimita el incendio por la parte inferior de la vertiente quemada.

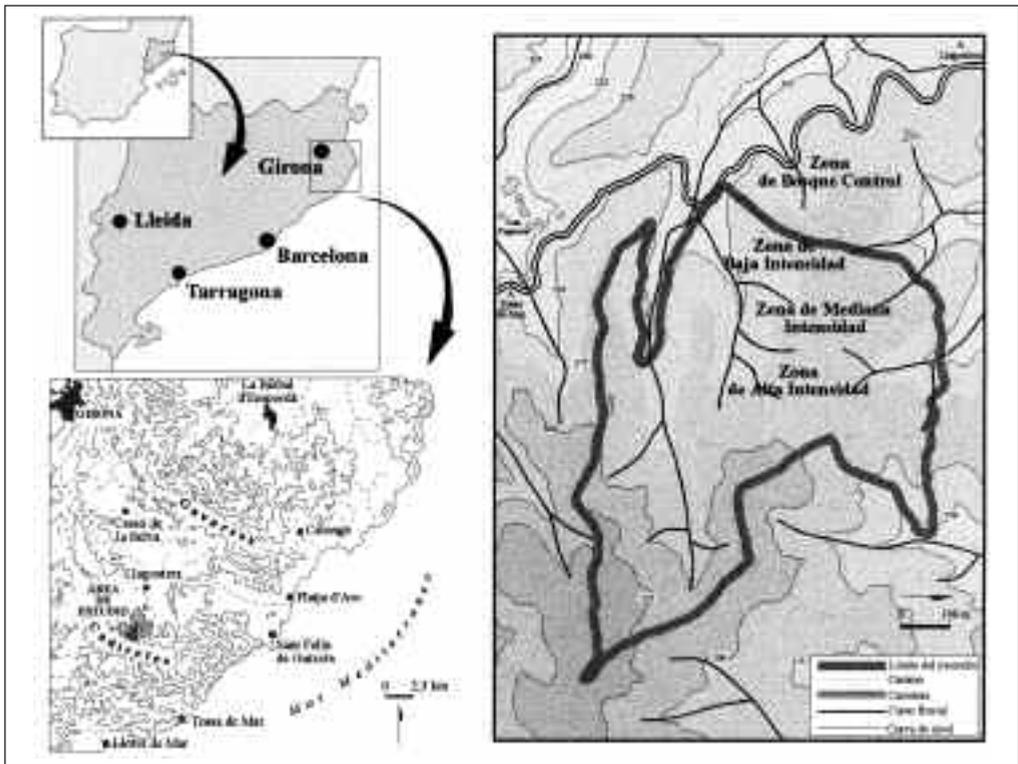


FIGURA 1. Mapa de localización del área quemada y de las zonas de diferente intensidad.

El macizo de Cadiretes es en su mayor parte de naturaleza granítica y con enclaves de rocas metamórficas, está dentro de la zona del alcornoque (*Quercetum ilicis galloprovinciale suberetosum*) apareciendo estos árboles en bosques de baja densidad, pero muy poblado de sotobosque lo que lo hace intransitable. El bosque que se quemó en julio de 1994, era una plantación de *Pinus*

pinaster con ejemplares muy bien alineados sobre terrazas hechas exclusivamente para este motivo. Las copas de estos árboles se tocan unas a otras desde la parte más baja hasta la superior de la vertiente. Los alcornoques también están presentes en el área quemada, notándose mucho más su presencia una vez que el fuego eliminó, en algunos lugares completamente, al *Pinus pinaster*. El

sotobosque, de este pinar y alcornocal, está compuesto por arbustos como *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Rubia peregrina*, *Smilax aspera*, *Lonicera implexa* y *Ruscus aculeatus*. Además hay un importante estrato herbáceo predominantemente compuesto por *Brachypodiums*.

En el área quemada se delimitaron tres zonas de estudio, con la misma orientación y pendiente, según la intensidad del fuego. También se delimitó una zona de bosque control, muy cercano a las zonas quemadas y de iguales características fisiográficas y de vegetación para su estudio comparativo. (Figura. 1). El suelo se ha clasificado según la Soil Taxonomy como un Xerochrept típico.

Metodología para el establecimiento de las diferentes intensidades de fuego

Inmediatamente después del incendio las diferentes intensidades de fuego fueron determinadas en el campo. Se distinguieron tres zonas mediante la observación del estado de los árboles y de las cantidades de ramas y hojas que permanecían en los árboles, así como la cantidad de hojarasca que había depositada en la superficie del suelo y la cantidad y color de las cenizas (Marion, et al., 1991, Moreno y Oechel, 1989). La vegetación después del incendio en las diferentes zonas tenía las siguientes características:

1. Zona 1 o de baja intensidad de fuego: Los árboles (*Pinus* y *Quercus*) mantenían algunas hojas (aunque no fueran totalmente de color verde), y un gran número de ramas, incluso pequeñas. Mucha hojarasca cubrió el suelo justamente después del incendio y no llegó a quemarse. Los *Quercus suber* sobrevivieron, y también algún *Pinus pinaster*. Esta zona está localizada alrededor de los torrentes y en la parte más baja de la vertiente. Debajo de la hojarasca depositada se podía observar la presencia de cenizas de color

muy negro, que aún perduraban en muchos lugares dos años y medio después del incendio.

2. Zona 2 o de mediana intensidad de fuego: Los árboles no tenían ninguna hoja, pero conservaban un número importante de ramas. No había mucha hojarasca en el suelo. Esta zona se sitúa alrededor de la zona de baja intensidad y en la parte superior de la vertiente. Las cenizas de color negro aún se conservan treinta meses después del incendio.
3. Zona 3 o de alta intensidad de fuego: Los árboles habían perdido todas las hojas y ramas, conservaban solamente el tronco. El *Arbutus unedo* había desaparecido, cosa que no pasaba en las otras zonas, y la superficie del suelo estaba totalmente desprotegida. La superficie del suelo justo después del incendio estaba cubierta por ceniza de color gris y blanco que desapareció rápidamente después de las primeras lluvias.

Las muestras analizadas fueron recogidas un día después del incendio, cuando todavía no se había producido ningún episodio de lluvia. Se realizó un muestreo de idénticas características en la zona de bosque control (sin quemar). Las muestras fueron recogidas centímetro a centímetro en los 3 cm superficiales, en cinco lugares diferentes de cada zona, consiguiendo una muestra compuesta formada por cinco muestras simples de unos 100 g cada una de ellas. La muestra resultante fue analizada y se realizó una réplica. Los resultados corresponden, a) a la media aritmética de los tres centímetros y b) a la media entre la muestra y su réplica.

Las determinaciones realizadas fueron las siguientes: textura, tras la eliminación de materia orgánica con H_2O_2 , dispersión con $(NaPO_3)_6$ y análisis en el Coulter Size Particle; carbono y nitrógeno, mediante analizador elemental; pH de la pasta saturada; Ca, Mg y P asimilables, extracción con acetato amónico a pH 7 y análisis mediante plasma

por inducción; potasio asimilable por absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios en la textura del suelo

Según la tabla 2, en las tres zonas de estudio la cantidad de arena disminuye justo después del fuego si comparamos los datos con la parcela control (-9,92% en la zona de

baja intensidad, -17,17% en la zona de media intensidad y -5,23% en la zona de alta intensidad de fuego). Al mismo tiempo la proporción de limos aumenta en las tres zonas (8,62%, 16,62% y 5,52% respectivamente). La fracción arcilla aumenta tan solo en las zonas menos intensamente quemadas (1,3% en la zona de baja intensidad y 0,54% en la zona de media intensidad) y disminuye en la zona más intensamente quemada (-0,29%).

TABLA 2. Media aritmética de los valores de arena, limo y arcilla de los tres centímetros superficiales en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

	% arena		% limo		% arcilla	
	control	quemado	control	quemado	control	quemado
Intensidad baja	63,61	53,69	32,34	40,96	4,05	5,35
Intensidad media	63,61	46,44	32,34	48,96	4,05	4,59
Intensidad alta	63,61	58,38	32,34	37,86	4,05	3,76

La bibliografía existente (Bemetrieux et al., 1960, Giovannini, 1994) habla de una agregación de partículas después del incendio que produce un aumento de la fracción arena. En nuestro caso los resultados han sido totalmente opuestos. El hecho es que esta aglutinación posterior al incendio, referida en la bibliografía, viene dada por una cementación parecida a la que estructura a las partículas del suelo con el resultado final de la formación de agregados. La preparación de la muestra antes de realizar el análisis de textura (ataque con H₂O₂ y dispersión con hexametrafosfato sódico) puede tener el efecto contrario. En cualquier caso el fuego o la alta temperatura lo que puede llevar a cabo es una microignifrac-

ción que quizás se vea enmascarada por una eventual y débil reestructuración.

Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno

Justo después del incendio hay un aumento del carbono en las zonas menos intensamente quemadas (4,1% en la zona de baja intensidad y 5,1% en la zona de media intensidad) y una leve disminución en la zona más intensamente quemada (-2,16%). El nitrógeno desciende en concentración en todas las zonas incendiadas después del incendio (-1,04, - 0,41 y -1,03% respectivamente, Tabla 3).

TABLA 3. Media aritmética de los valores de carbono y nitrógeno de los tres centímetros superficiales en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

	% carbono		% nitrógeno	
	control	quemado	control	quemado
Intensidad baja	13,23	17,33	1,53	0,49
Intensidad media	13,23	18,33	1,53	1,12
Intensidad alta	13,23	11,07	1,53	0,50

Romanyà et al. (1994) hace una distinción entre baja y alta intensidad de fuego y observa una pérdida en carbono del 0,75% en la zona de baja intensidad y de un 1,75% en la zona de alta intensidad en los dos primeros centímetros del suelo. La disminución sufrida en los siguientes tres centímetros más profundos es de tan solo el 0,15%.

Como la cantidad de carbono está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica del suelo, no se va a observar una disminución drástica del contenido de carbono hasta que no se rebasen los 450°C que es cuando la combustión de materia orgánica es casi total (Giovannini, 1994, 1997), lo que sólo es significativo en fuegos de alta intensidad. Estos resultados coinciden con los de Sánchez et al. (1994) que observan un incremento de la materia orgánica en suelos que han sufrido fuegos de baja intensidad.

La concentración de nitrógeno desciende después de los incendios debido a que gran parte se volatiliza en forma de N_2 y se transforma en formas más complejas. Raison et al., (1992) observan después de un incendio un incremento de amonio y Romanyà et al. (1994) señalan un descenso de N superior en los dos primeros centímetros (126 mg kg^{-1}) y menor en los siguientes tres centímetros (96 mg kg^{-1}). También observan un descenso superior en la zona más intensamente quemada (85 mg kg^{-1}). Giovannini (1997) también destaca el hecho de la pérdida de nitrógeno después de incendios forestales siendo más acusado cuanto más intenso es el fuego, fijan-

do la temperatura de 450°C como determinante para la pérdida del 75% de nitrógeno. Dimitrakopoulos et al., (1994) establecen esta temperatura entre 300 y 400°C.

Después de seis meses Sánchez et al. (1994) observan un descenso general de las concentraciones de nitrógeno comparándolas con las concentraciones halladas justo después del incendio. Blank y Zamudio (1998) observan el mismo hecho y lo atribuyen al consumo producido para la germinación de ciertas especies que aparecen en condiciones de post-incendio.

Cambios en el contenido de calcio, magnesio, potasio y fósforo asimilables

El contenido de calcio asimilable disminuye sólo notablemente en la zona de baja intensidad de fuego (-340 ppm) y, por el contrario, aumenta en la zona de media intensidad (500 ppm). En la zona de alta intensidad la variación es menos acusada (-26 ppm). La concentración de magnesio disminuye en todas las zonas (-456 ppm, -111 ppm y -395 ppm, Tabla 4).

Sánchez et al. (1994) obtiene una marcada disminución en las concentraciones de calcio y magnesio en las muestras recogidas en una parcela quemada a baja intensidad. Giovannini (1997) señala un aumento en la concentración de calcio y magnesio desde los 170 °C hasta los 500 °C, y un descenso a partir de esta temperatura. Pero Blank y Zamudio (1998) señalan diferencias en el comportamiento de las concentraciones

TABLA 4. Media aritmética de los valores de calcio, magnesio, potasio y fósforo asimilables de los tres centímetros superficiales en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

	Calcio (mg g^{-1})		Magnesio (mg g^{-1})		Potasio (mg g^{-1})		Fósforo (mg g^{-1})	
	control	quemado	control	quemado	control	quemado	control	quemado
Intensidad baja	1442	1102	678	222	157	260	6,10	4,57
Intensidad media	1442	1942	678	567	157	345	6,10	4,07
Intensidad alta	1442	1416	678	283	157	302	6,10	3,93

dependiendo de la vegetación que se incendie. De las cuatro especies analizadas por estos últimos autores existe una disminución de calcio y magnesio en la zona de *Pinus jeffreyi*.

El potasio es el elemento que experimenta un incremento en su concentración más generalizado en todas las zonas (103, 188 y 145 ppm respectivamente). Diversos autores obtuvieron resultados semejantes (Sánchez *et al.*, 1994, Giovannini, 1997, Blank y Zamudio, 1998). El aumento se atribuye a la ceniza producida tras la combustión de la vegetación, aunque Dimitrakopoulos *et al.* (1994) señalan que si la temperatura alcanza los 500 °C hay volatilización de potasio y, si no hay suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración de potasio se verá reducida después del incendio.

La concentración de fósforo disminuye en estos tres primeros centímetros (-1,53, -2,03 y -2,17 ppm respectivamente), aunque si solo se observa el primer centímetro la cosa cambia (2,35, 2,5 y 1,15 ppm, Tabla 5).

TABLA 5. Valores de fósforo asimilable en el primer centímetro del suelo en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

Concentración de fósforo en el primer centímetro del suelo (ppm)	control	quemado
Intensidad baja	8,4	10,75
Intensidad media	8,4	10,90
Intensidad alta	8,4	9,55

Romanyà *et al.* (1994) aprecian un aumento de fósforo solo destacable en los dos primeros centímetros y no así a más profundidad. Además, este aumento es mucho mayor cuando la intensidad del fuego es más elevada (28 mg kg⁻¹ en la zona de baja intensidad y 70 mg kg⁻¹ en la de alta). Giovannini

(1997) también comparte esta afirmación, señalando que cuando hay un aumento notable en la concentración de fósforo es a partir de los 460 °C. Romanyà *et al.* (1994) señalan como responsables de este incremento al aumento de la temperatura capaz de mineralizar el fósforo orgánico más que a la adición de fósforo por parte de la combustión de la vegetación.

Cambios en el pH del suelo

El pH del suelo aumentó de valores inferiores a 7 a valores de 8 en las tres zonas después del incendio. Las zonas más intensamente quemadas fueron las que obtuvieron valores más elevados. Después de dos años los valores de pH del suelo disminuyen pero continúan siendo superiores a los de la zona de bosque control (Figura 2).

Todos los autores observan un aumento de los valores del pH después de un incendio (Giovannini, 1994, 1997; Dimitrakopoulos *et al.*, 1994). Romanyà *et al.* (1994) destaca mayores incrementos en los primeros centímetros: de 4,28 a 6,42 en los dos primeros centímetros y de 4,31 a 4,54 en los tres siguientes. También el incremento es mayor cuando aumenta la intensidad (de 4,28 pasa a 7,82 en superficie y de 4,31 a 6,90 en los siguientes tres centímetros).

Estos cambios en el pH se deben, según Giovannini (1994), a la pérdida de grupos hidróxilo por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la disociación de carbonatos. No obstante, Giovannini subraya que es necesaria una temperatura superior a 450 °C para que este incremento sea notable.

CONCLUSIONES

La gran ventaja de realizar estudios sobre fuegos fortuitos es que los datos provienen de un hecho real y no ficticio como puede ser un ensayo de laboratorio. La desventaja reside en que por mucho que se comparen con los de

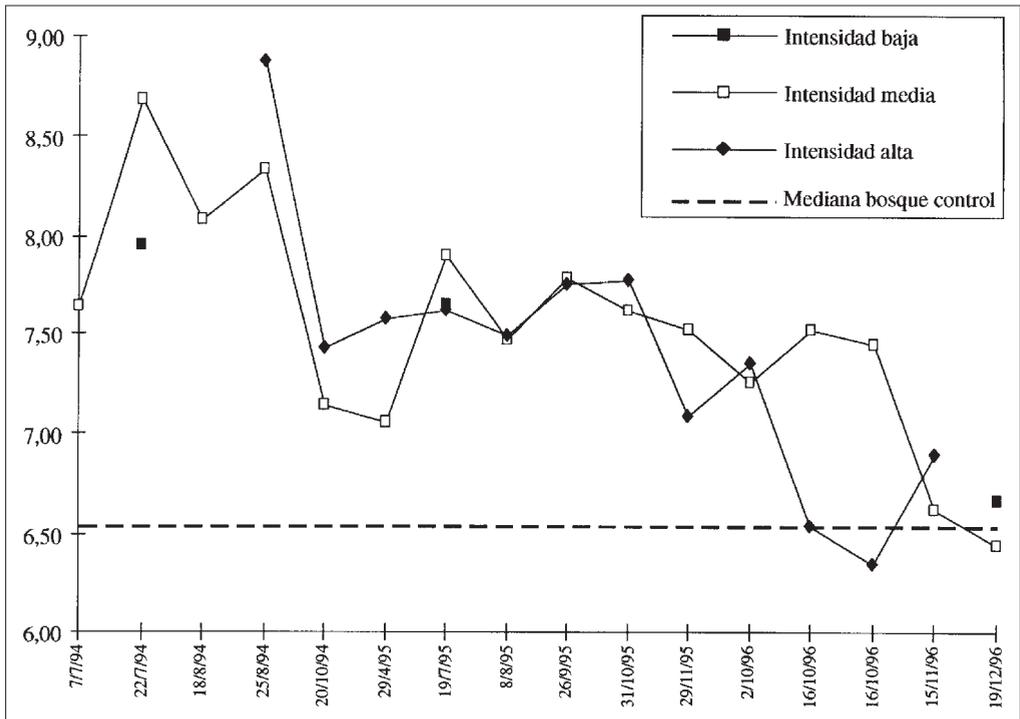


FIGURA 2. Evolución del pH del suelo en las cuatro zonas de estudio.

una parcela control queda la duda de si los valores de partida eran idénticos.

Como se puede comprobar en la discusión, algunos de los resultados son parecidos a los obtenidos por otros autores, pero otros resultados son diferentes. A la hora de comparar datos obtenidos en diferentes trabajos se tienen que tener en cuenta: tipo de suelo, tipo de vegetación, profundidad y, como en este presente trabajo queda reflejado, la intensidad del fuego que provocó los cambios en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo gracias al proyecto de la Comunidad Europea EV5V-CT91-0043 "Desertification Risk Assessment and Land Use Planning in a Mediterranean Coastal Area".

REFERENCIAS

- Bemtrieux, R., Le Borgne, E., y Monnier, G. (1996): Evolution of certain properties of soil under the influence of heating. *C. R. Acad. Sci, Paris*, 251, 2753-2755.
- Blank, R. R., Zamudio, D. C. (1998): The influence of wildfire on aqueous-extractable soil solutes in forested and wet meadow ecosystems along the eastern front of the Sierra Nevada Range, California. *Int. J. Wildland Fire*, 8 (2), 79-85.
- Dimitrakopoulos, A. P., Martin, R. E. Y papamichos, N. T. (1994): En: Sala, M y Rubio, J. L. Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 199-206.
- Giovannini, G (1994): The effect of fire on soil quality. En : Sala, M y Rubio, J. L.

- Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 15-27.
- Giovannini, G (1997): The effect of fire on soil quality – Physical and chemical aspects. En: *Forest fire risk and management. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course*, European Commission, 217-248.
- Heyward, F (1938): Soil temperatures during forest fires in the longleaf pine forest. *J. For*, 36, 478-491.
- Lucchesi, S., Ansaldi, M y Giovannini, G. (1994): Regeneration of Mediterranean maquis after the passage of an experimental fire. En: Sala, M y Rubio, J. L. Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 177-183.
- Marion, G. M, Moreno, J. M., y Oechel, W. C. (1991): Fire severity, ash deposition and clipping effects on soil nutrients in chaparral. *Soil Science Society American Journal*, 55, 235-240.
- Moreno, J. M. y Oechel, W. C. (1989): A simple method for estimating fire intensity after a burn in California chaparral. *Acta Oecológica* 10/1, 57-68.
- Raison, R. J. Conell, A. M. Khanna, P. K y Keith, H. (1992): Effects of repeated fires on nitrogen and phosphorous budgets and cycling processes in forest ecosystems. En: L. Trabaud and R. Prodon Eds. *Fire in Mediterranean Ecosystems*, 347-363.
- Romanyà, J., Khanna, P. K y Raison, R. J. (1994): Effects of slash burning on soil phosphorous fractions and sorption and desorption of phosphorous. *Forest Ecology and Management*, 65, 89-103.
- Sala, M. y Batalla, R. (1996): *Teoría y métodos en Geografía Física*. Editorial síntesis, Col. Espacios y Sociedades, nº 1, 303 p.
- Sánchez, J. R., Mangas, V. J., Ortiz, C., y Bellot, J. (1994): Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. En: Sala, M y Rubio, J. L. Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 53-65.
- Tarrant, R. F. (1953): Effect of heat on soil color and pH of two forest soils, *USDA For. Serv. Res. Note*, PNW-90, 50 p.
- Úbeda, X. (1998): *Efectes de les diferents intensitats de foc, durant els incendis forestals, en els paràmetres físico-químics del sòl i en l'increment de l'escolament i l'erosió*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- Wells, C. G. (1981): Some effects of brushfires on erosion processes in Coastal Southern California. En: *Erosion and sediment transport in Pacific Rim Stepplands*. IAHS. Publ. N° 132, Christchurch.

MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO EN LOS ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

A. M. MONTIEL TORRES ¹ y R. BLANCO SEPÚLVEDA ²

¹ Departamento de Estadística y Econometría. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Málaga.

² Departamento de Geografía. Universidad de Málaga.

Abstract. The purpose of sampling in Soil Science is to estimate certain characteristics of the population by means of a statistically representative sample. The proposed objective of this work is to analyze the techniques that are usually used in the sampling strategies and to establish the degree of practical utility of each one of them. The results obtained show that, in relation to the sampling strategy, the stratified random sampling have a great practical utility together with the sampling error; while, with technique of the corrected variance we obtain a result not entirely satisfactory for the study of population's parameters.

Key words: sample size, soil physical properties.

Resumen: La finalidad del muestreo en Edafología es estimar, a través de una muestra estadísticamente representativa, determinadas características de la población. El objetivo planteado en este trabajo es analizar las técnicas que se utilizan normalmente en las estrategias de muestreo de suelos y establecer el grado de utilidad práctica de cada una de ellas. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la gran utilidad del muestreo aleatorio estratificado, junto con el error de muestreo; mientras que, con la técnica de la varianza corregida obtenemos un resultado no del todo satisfactorio.

Palabras clave: tamaño muestral, propiedades físicas del suelo.

INTRODUCCIÓN.

Todos los autores coinciden en señalar que las propiedades del suelo, tanto físicas como químicas, se caracterizan por una gran variabilidad (Cline, 1944; Youngs, 1983; Briggs y Shishira, 1985; Vallejo et al., 1993; Martínez, 1996).

En el caso concreto de las propiedades físicas, la heterogeneidad de resultados es debido a toda una serie de factores que inciden sobre la superficie del suelo (Youngs, 1983): presencia de grietas estructurales, pre-

sencia de materiales de distinta naturaleza, diferentes procesos de edafogénesis, actividad de los animales, alteraciones provocadas por el hombre, etc. Esta situación complica la estimación de los parámetros de la población, ya que para conocerlos no basta con tomar una muestra de la unidad espacial objeto de estudio sino que se deberá recoger un número de muestras adecuado que represente de forma fiable a la población.

En la práctica, el análisis de los parámetros poblacionales se hace preferentemente mediante muestreo, del cual, si se ha escogi-

do la muestra de forma adecuada, se puede extraer una información similar a la de la población, con la ventaja del menor coste económico y temporal (Rodríguez, 1993; Peña, 1995), teniendo en cuenta que, el conocimiento de una población, salvo excepciones, no se puede conseguir con toda exactitud mediante una muestra (Barbancho, 1980). Con este objetivo se va a calcular el tamaño muestral a partir de una serie de estrategias de optimización del muestreo.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Escenario de trabajo.

El espacio donde se ha llevado a cabo la investigación es una explotación ganadera situada en los Montes de Málaga. La cartografía de unidades homogéneas, realizado previamente mediante muestreo estratificado, ha permitido obtener una serie de unidades ambientales con las mismas características (Blanco, 2000). El objetivo ha sido reducir al máximo la variabilidad de resultados inherente a los factores ambientales.

La unidad muestral elegida tiene una superficie de 250 m² y se caracteriza por una pendiente del 45%, una orientación NE, una litología compuesta por filitas paleozoicas del zócalo maláguide y una asociación de suelos compuesta por regosoles lépticos y eútricos y leptosoles eútricos con inclusiones de cambisoles léptico-crómicos y crómico-eútricos. Es una zona sometida a un uso ganadero en régimen extensivo, caracterizado por una carga ganadera real acumulada elevada y una frecuencia de pastoreo anual muy elevada. Dicha unidad se ha dividido en 10 parcelas de 25 m², tomándose de cada una de ellas 2 muestras a una profundidad de 5 cm. a partir de la superficie, lo que resulta un tamaño muestral de n = 20.

Parámetros y métodos de análisis.

- a) Densidad aparente. Método del cilindro (Henin *et al.*, 1976; Guitián y Carballas, 1976; Blake y Hartge, 1986).

- b) Porosidad. Se calcula mediante la relación entre el volumen de poros y el volumen total del suelo.
- c) Estabilidad estructural. Índice de inestabilidad estructural de Henin *et al.* (1976).
- d) Capacidad de retención de agua en el suelo a la capacidad de campo. Método de Cassel y Nielsen, 1986.
- e) Capacidad de infiltración. Método del infiltrómetro de cilindro simple con carga constante (Amerman, 1983; Bouwer, 1986; Youngs, 1987, 1991).

Métodos estadísticos de optimización del muestreo. Cálculo del tamaño muestral.

Las técnicas que se han utilizado para analizar la variabilidad de las propiedades del suelo y han servido para diseñar una estrategia de muestreo adecuada, con el objetivo de determinar el tamaño de la muestra, son las siguientes:

- a) Cálculo del tamaño muestral para poblaciones infinitas y con una distribución normal a partir de la fórmula deducida para los intervalos de confianza.
- b) Representación gráfica de la varianza corregida y el error de muestreo para un intervalo de confianza del 95% con un número creciente de muestras (n = 2 ... 20).

Una vez obtenidos los resultados de la aplicación de ambas técnicas se escoge el tamaño muestral más ajustado.

El tamaño muestral, calculado a partir de la fórmula deducida para los intervalos de confianza, permite estimar la media en los muestreos de tipo aleatorio simple y para poblaciones infinitas. La fórmula, a nivel teórico, ha sido analizada por numerosos autores (Rodríguez, 1993; Peña, 1995). Esta toma la siguiente expresión:

$$n = \frac{t_{(\alpha/2)}^2 \sigma^2}{e^2}$$

$t_{(\alpha/2)}$: nivel de confianza.

σ^2 : varianza.

e: error de muestreo prefijado.

Con esta fórmula se obtiene el número mínimo de muestras necesarias para determinar el valor medio de una propiedad.

Bruce y Luxmoore (1986) sugieren que esta estimación debe hacerse para un intervalo de confianza del 95% y un error de muestreo para la estimación de la media poblacional igual o inferior al 10% del valor de la media muestral.

La fórmula se ha utilizado en muchos trabajos sobre variabilidad y diseño de muestreos (Cline, 1944; Llorca, 1991; Brubaker y Hallmark, 1991; Burrough, 1991; Vallejo *et al.*, 1993; Martínez, 1996); sin embargo, parte de estos autores coinciden al señalar que la utilidad práctica de la fórmula es reducida (Vallejo *et al.*, 1993; Martínez, 1996) debido a que suministra, en todos los casos, un número teórico y, además, el tamaño de muestreo que resulta para estudiar numerosas propiedades es tan elevado que es inviable su aplicación, sobre todo, cuando se utilizan técnicas destructivas. Sin embargo, éste puede tener gran utilidad cuando previamente al muestreo se ha dividido el territorio en unidades homogéneas, de ahí que, en algunos de los casos analizados, como se verá más adelante, se obtienen valores que se ajustan muy bien a las posibilidades reales de muestreo.

Antes de seguir hay que tener en cuenta que esta fórmula sólo se puede aplicar a muestras con distribución normal (Burrough, 1991). En este caso todos los parámetros medidos cumplen el requisito de normalidad en su distribución, a excepción de la capacidad de infiltración (Martínez, 1996), lo que motiva que sea necesario el uso de otras técnicas para estimar el tamaño muestral.

Las medidas de dispersión son las técnicas clásicas de análisis de la variabilidad de las propiedades del suelo. Su utilidad descriptiva se pone de manifiesto en numerosos trabajos (Alcala y Monturiol, 1988; Vallejo *et al.*, 1993). Los parámetros que usualmente miden la variabilidad son la varianza, la des-

viación típica y el coeficiente de variación. Estos se suelen utilizar en la optimización del muestreo representando gráficamente los resultados con un número creciente de muestras, con el objetivo de detectar el punto a partir del cual se estabiliza la variación. Ese punto de estabilización de la curva se puede considerar que representa el número de muestras que se deben tomar para estimar el parámetro poblacional en cuestión. En este caso se ha utilizado la representación gráfica de la varianza corregida, sometiéndose, además, a la misma representación gráfica al error de muestreo para un nivel de confianza del 95%.

Para establecer el tamaño muestral mediante estas técnicas se ha utilizado como criterio el punto a partir del cual el rango entre los valores de varianza o, en su caso, los errores de muestreo se reducen considerablemente o bien se estabilizan. En ciertos casos, como en la densidad aparente, no ha sido necesario acudir al rango ya que el punto de inflexión de la curva lo han marcado los propios valores de varianza y error de muestreo.

Para Rodríguez (1993) es imprescindible añadir a cada estimación su grado de precisión para poder determinar, de esta forma, cuál es su aproximación a la realidad y, por tanto, la confianza que merece. Por lo tanto, una vez obtenidos los resultados del muestreo de campo y del trabajo de laboratorio, se ha realizado la inferencia estadística, mediante la cual se pretende conocer los resultados del muestreo y su precisión. La inferencia estadística se enfoca, tradicionalmente, utilizando la teoría de la estimación, la cual se desarrolla utilizando las técnicas de estimación por puntos y por intervalos.

La estimación por puntos de las características de la población se estiman, cuando sólo se dispone de una muestra, utilizando la media y la varianza corregida de la misma. En el caso de que los estimadores tiendan a seguir distribuciones normales, las expresiones que se utilizan son las siguientes:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{Estimador de la media poblacional}$$

$$\hat{I}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{Varianza muestral corregida}$$

Cuando se desconoce la media poblacional resulta imposible calcular la varianza de la población (s^2). Por ello, ésta se sustituye por la varianza muestral (s^2) (Rodríguez, 1993). En lugar de la varianza se va a utilizar la desviación típica muestral (s), lo que equivale a la raíz cuadrada de la varianza. En este sentido resulta todavía más conveniente utilizar en lugar de la desviación típica muestral, el mejor estimador o estimador más eficiente de la desviación típica o desviación típica muestral corregida (\hat{I}), siempre y cuando el tamaño de la muestra no pase de 30 (Estébanez y Bradshaw, 1979). Al introducir en la fórmula el divisor $n-1$ se obtienen mejores cualidades como estimador, debido a que es el estimador insesgado.

El error de muestreo para la estimación de la media muestral en el supuesto que se utilice un muestreo aleatorio simple y para una población infinita, toma la siguiente expresión:

$$e = \frac{\hat{I}}{\sqrt{n}} \quad \text{Error de muestreo}$$

e : error de muestreo;

\hat{I} : desviación típica muestral corregida.

En los casos citados y con el objetivo de calcular la estimación por intervalos se sustituye la distribución normal (Z) por la distribución "t de Student" (t) debido a que desconocemos la varianza poblacional (Peña, 1995). Igualmente, Estébanez y Bradshaw (1979) argumentan que, para estimar los límites de confianza, en los casos en los que el

tamaño muestral sea inferior a 30, se debe utilizar la distribución "t de Student".

Los límites de confianza vienen definidos por la siguiente expresión:

$$\mu: \bar{x} \pm t \frac{\hat{I}}{\sqrt{n}} \quad \text{Límites de confianza para la media poblacional}$$

Que puede resumirse como sigue:

$$\mu: \bar{x} \pm t \cdot e$$

μ = límites de confianza para la media poblacional.

\bar{x} = media muestral.

t = valor de la distribución t para un nivel de confianza dado.

e = error de muestreo.

La precisión de las estimaciones se han calculado para un nivel de confianza del 95%, es decir la probabilidad de inferencia de la población a través de la muestra es del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos de la aplicación de las técnicas de inferencia estadística y del cálculo del tamaño muestral, se representan en la Tabla 1.

Se ha realizado para cada muestra analizada el test de rachas de la mediana (Peña, 1995) con el objetivo de comprobar la aleatoriedad de las muestras, resultando ser, en todos los casos, aleatorias y, por tanto, válidas.

La densidad aparente. Esta propiedad se caracteriza por una escasa variabilidad intrínseca, lo que pone de manifiesto el coeficiente de variación del 7,95% para una muestra de tamaño $n=20$. Para este tamaño muestral existe un error de muestreo para la media poblacional de 0,05 g/cm³. Los límites de confianza de la media poblacional para una

TABLA 1. Estimación del tamaño muestral y resultados estadísticos para $n = 20$

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	DENSIDAD APARENTE (g/cm^3)	POROSIDAD (%)	CAPACIDAD CAMPO (%)	CAPACIDAD INFILTRACIÓN (%)	INESTABILIDAD ESTRUCTURAL (%)
N	20	20	20	20	20
\bar{s}^2	$2,40 \cdot 10^{-2}$	47,07	7,93	109,03	0,47
Media	1,45	36,68	22,56	70,19	1,48
Error muestreo	0,05	3,2	1,23	4,57	0,32
Limites confianza	1,50 – 1,40	39,88 – 33,47	23,80 – 21,33	74,77 – 65,62	1,80 – 1,15
CV (%)	7,95	18,70	12,48	14,87	46,66
Tamaño muestra 1	n=3	n=15	n=7	-	n=95
Tamaño muestra 2	-	n=9	n=7	-	n=8
Tamaño muestra 3	n=6	n=7	n=8	n=6	n=8

N: tamaño muestral; \bar{s}^2 : varianza corregida; CV: coeficiente de variación.

Tamaño muestra 1: tamaño de la muestra calculado a partir de la fórmula deducida para los intervalos de confianza (intervalo de confianza del 95% y error de la estimación $\leq 10\%$).

Tamaño muestra 2: tamaño de la muestra estimado mediante la representación gráfica de la varianza corregida.

Tamaño muestra 3: tamaño de la muestra estimado mediante la representación gráfica del error de muestreo.

probabilidad del 95% se encuentra entre 1,50 y $1,40 \text{ g/cm}^3$.

El tamaño de la muestra con un nivel confianza del 95% y un error de estimación $\leq 10\%$ obtenido por la fórmula de los diseños de muestreo, es de $n = 3$.

La varianza corregida oscila entre valores con muy poco recorrido por lo que su representación gráfica con un número creciente de muestras no resulta significativa para la optimización del muestreo (gráfico 1). Por el contrario, mediante la representación gráfica del error de muestreo se obtiene una curva muy significativa (gráfico 2), ya que se observa una reducción progresiva del error de la estimación a medida que aumenta el número de ensayos. Los valores del error bajan de 0,1 a partir de un tamaño muestral $n = 6$, estabilizándose los errores en torno a 0,07 desde $n = 12$ hasta $n = 20$.

De los resultados obtenidos de la aplicación de ambas técnicas se escoge el tamaño muestral de 3 ensayos porque es el más ajustado de todos.

La porosidad. El coeficiente de variación indica que la distribución de 20 muestras es moderadamente variable, con un valor que se eleva al 18,7%. Para este tamaño muestral existe un error de muestreo para la media poblacional del 3,2%. Los límites de confianza de la media poblacional para una probabilidad del 95% se encuentran entre el 39,88 y el 33,47%.

La estimación del tamaño de la muestra con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación $\leq 10\%$, obtenida a partir de la fórmula de los diseños de muestreo es de $n = 15$.

La representación gráfica de la varianza corregida es, en este caso, muy significativa (gráfico 3). Resulta una muestra de tamaño $n = 9$, que es cuando el rango de la varianza se estabiliza entre 4 y 5. El error de muestreo también presenta una tendencia significativa (gráfico 4).

El tamaño muestral es de 7 ensayos si se considera como punto de inflexión el momento en el que el rango del error baja de 1 y se estabiliza.

De los resultados obtenidos se escoge el tamaño muestral de 7 ensayos porque es el más ajustado.

La capacidad de retención de agua a capacidad de campo. El coeficiente de variación de la distribución de 20 muestras es moderadamente variable, con un valor que se eleva al 12,48%. Para este tamaño muestral existe un error de muestreo para la media poblacional del 1,23%. Los límites de confianza de la media poblacional para una probabilidad del 95% se encuentran entre el 23,80 y el 21,33%.

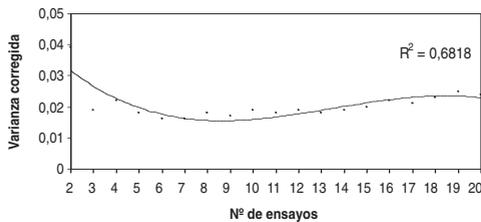
La estimación del tamaño de la muestra con un nivel de confianza del 95% y un error de la estimación $\leq 10\%$, obtenida a partir de la fórmula de los diseños de muestreo es de $n = 7$.

La representación gráfica de la varianza corregida es, en este caso, muy significativa (gráfico 5). Resulta una muestra de tamaño $n = 7$, que es cuando el recorrido entre los valores se estabiliza. El estudio del error de muestreo también muestra una tendencia significativa (gráfico 6). El recorrido entre los valores se estabiliza en torno a 0,2 con un tamaño muestral de $n = 8$ ensayos.

De los resultados obtenidos se escoge el tamaño muestral de 7 ensayos porque es el más ajustado.

La capacidad de infiltración. El coeficiente de variación indica que la distribución de 20 muestras es moderadamente variable, con un valor que se eleva al 14,87%. Para

GRÁFICO 1. DENSIDAD APARENTE (Varianza corregida)

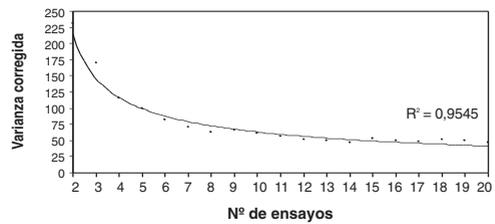


VARIANZA CORREGIDA CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S ²	0,039	0,019	0,022	0,018	0,016	0,016	0,018	0,017	0,019	0,018
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
S ²	0,019	0,018	0,019	0,020	0,022	0,021	0,023	0,025	0,024	-

S²: varianza corregida

GRÁFICO 3. POROSIDAD (Varianza corregida)

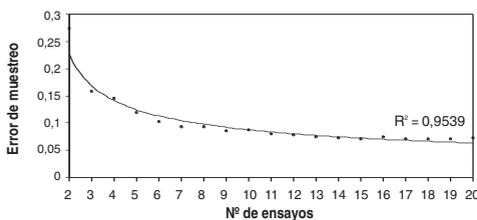


VARIANZA CORREGIDA CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S ²	231,48	169,94	115,76	98,80	82,53	70,85	61,98	64,96	60,52	55,36
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
S ²	50,74	49,61	45,81	52,40	49,43	47,79	51,13	49,68	47,07	-

2: varianza corregida

GRÁFICO 2. DENSIDAD APARENTE (Error de muestreo, nivel de confianza del 95%)

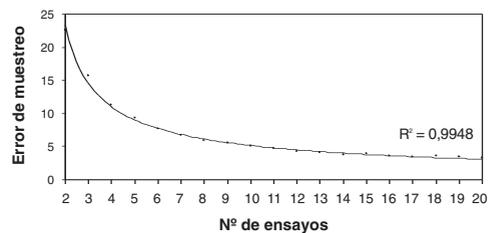


ERROR DE MUESTREO CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
e	0,27	0,15	0,14	0,12	0,10	0,094	0,094	0,085	0,087	0,08
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
e	0,078	0,074	0,073	0,071	0,074	0,07	0,071	0,071	0,072	-

e: error de muestreo

GRÁFICO 4. POROSIDAD (Error de muestreo, nivel de confianza del 95%)



ERROR DE MUESTREO CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
e	22,48	15,73	11,24	9,29	7,75	6,63	5,81	5,61	5,14	4,68
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
e	4,29	4,08	3,78	3,91	3,67	3,50	3,52	3,38	3,20	-

e: error de muestreo

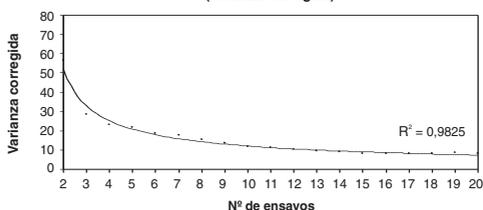
este tamaño muestral existe un error de muestreo para la media poblacional de 4,57 cm/h. Los límites de confianza de la media poblacional, para una probabilidad del 95%, se encuentren entre 74,77 y 65,62 cm/h.

Los resultados obtenidos con la representación gráfica de la varianza corregida no resultan adecuados ya que la tendencia de la curva no satisface los objetivos marcados (gráfico 7).

Por el contrario, el error de muestreo es el que ofrece la mejor tendencia como método de optimización del muestreo. El recorrido entre los errores de muestreo se estabiliza en torno a 1 a partir del tamaño muestral $n=6$ (gráfico 8).

La inestabilidad estructural. El coeficiente de variación indica que la distribución de 20 muestras es muy variable, con un valor que se eleva al 46,66%. Para este tamaño

GRÁFICO 5. CAPACIDAD DE CAMPO (Varianza corregida)

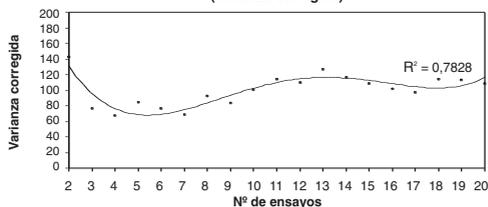


VARIANZA CORREGIDA CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S ²	56,6	28,59	22,92	21,76	18,59	17,54	15,32	13,41	11,96	11,28
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
S ²	10,27	9,42	8,83	8,27	7,95	8,36	8,03	8,38	7,93	-

S²: varianza corregida

GRÁFICO 7. CAPACIDAD DE INFILTRACION (Varianza corregida)

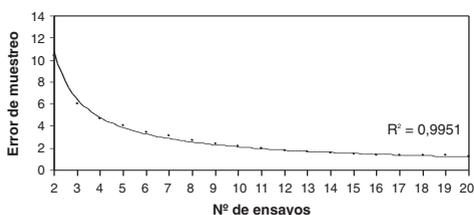


VARIANZA CORREGIDA CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S ²	143,14	76,93	67,34	84,98	76,02	68,13	92,06	83,44	100,56	113,78
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
S ²	109,9	126,44	116,79	108,89	101,69	97,19	114,05	113,43	109,03	-

S²: varianza corregida

GRÁFICO 6. CAPACIDAD DE CAMPO. (Error de muestreo, nivel de confianza del 95%)

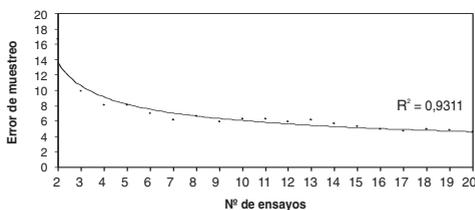


ERROR DE MUESTREO CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
e	10,42	6,05	4,69	4,08	3,45	3,1	2,71	2,39	2,14	1,98
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
e	1,81	1,66	1,55	1,45	1,38	1,37	1,31	1,30	1,23	-

e: error de muestreo

GRÁFICO 8. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN (Error de muestreo, nivel de confianza del 95%)



ERROR DE MUESTREO CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
e	16,58	9,92	8,04	8,08	6,97	6,11	6,65	5,96	6,22	6,30
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
e	5,93	6,11	5,66	5,28	4,94	4,68	4,93	4,79	4,57	-

e: error de muestreo

muestral existe un error de muestreo para la media poblacional de 0,32. Los límites de confianza de la media poblacional para una probabilidad del 95% se encuentran entre 1,80 y 1,15.

La estimación del tamaño de la muestra con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación $\leq 10\%$, obtenida a partir de la fórmula de los diseños de muestreo es desproporcionada ya que asciende a $n = 95$.

La representación gráfica de la varianza corregida es, en este caso, muy significativa (gráfico 9). El rango entre las varianzas se estabiliza cuando baja de 0,1, lo que ocurre a partir de una muestra de tamaño $n = 8$.

Los mismos resultados se han obtenido con el estudio del error de muestreo (gráfi-

co 10), es decir, el rango entre los errores se ha estabilizado en torno a 0,1, lo que se ha producido a partir de una muestra de tamaño $n = 8$.

De los resultados obtenidos se escoge el tamaño muestral de 8 ensayos porque es el más ajustado.

GRÁFICO 9. INESTABILIDAD ESTRUCTURAL (varianza corregida)

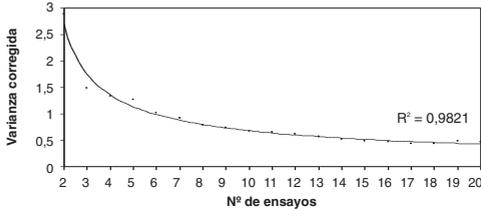
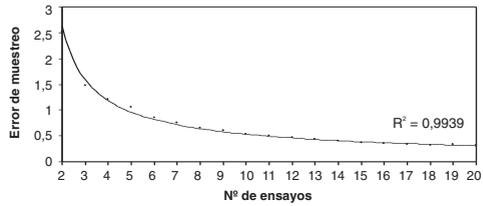


GRÁFICO 10. INESTABILIDAD ESTRUCTURAL (Error de muestreo, nivel de confianza del 95%)



VARIANZA CORREGIDA CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S ²	2,89	1,49	1,33	1,26	1,01	0,92	0,79	0,74	0,66	0,65
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
S ²	0,61	0,57	0,52	0,49	0,46	0,44	0,44	0,49	0,47	-

S²: varianza corregida

ERROR DE MUESTREO CON UN NÚMERO CRECIENTE DE MUESTRAS

Muestras	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
e	2,51	1,47	1,2	1,05	0,86	0,76	0,65	0,6	0,53	0,51
Muestras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
e	0,47	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	0,32	0,33	0,32	-

e: error de muestreo

CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos a partir de la fórmula deducida para los intervalos de confianza, refiriéndose concretamente a la densidad aparente y a la capacidad de campo, se ajustan muy bien a las posibilidades reales de muestreo. En este sentido hay que valorar positivamente que, como paso previo al muestreo, se ha distribuido a la población en unidades homogéneas, lo que ha reducido la variabilidad intrínseca de las propiedades del suelo medidas.

La representación gráfica de la varianza corregida ha tenido en los casos concretos de la densidad aparente y la capacidad de infiltración una escasa utilidad como técnica de optimización del muestreo; mientras que, en el resto la tendencia de la curva ha sido adecuada para los objetivos marcados.

Por último hay que destacar que, pese a que la representación gráfica del error de

muestreo es una técnica poco usual en los estudios sobre variabilidad, sin embargo, los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios, poniendo de manifiesto, por tanto, importantes aplicaciones prácticas en la determinación del tamaño muestral.

REFERENCIAS.

Amerman, C.R. (1983): "Infiltration measurement" En Proc. Conf. On Advances in Infiltration, Chicago. ASAE Publication, 11-83: 201-214.

Barbancho, A. (1980): Estadística elemental moderna. Ed. Ariel, Barcelona.

Blake, G.R. y Hartge, K.H. (1986): "Bulk density". Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Madison. Wisconsin, USA, 363-375.

Blanco, R. (2000): Propuesta metodológica para la aplicación del análisis de las pro-

- propiedades físicas edáficas a la evaluación del suelo para usos ganaderos. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Inédito.
- Bouwer, H. (1986): "Intake rate: cylinder infiltrometer". 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, 825-844.*
- 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.
- Brubaker, S.C. y Hallmar, C.T. (1991): "A comparison of statistical methods for evaluating map unit composition". MAUSBACH, M. y WILDING, L. (ed.): *Spatial variability of soils and landforms. ASA-CSSA-SSSA, 8: 73-88.*
- Bruce, R.R. y Luxmoore, R.J. (1986): "Water retention: field methods". *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Agronomy 9. Madison. Wisconsin, USA, 663-686.*
- Burrough, P.A. (1991): "Sampling designs for quantifying map unit composition". MAUSBACH, M. y WILDING, L. (ed.): *Spatial variability of soils and landforms. ASA-CSSA-SSSA, 8: 89-125.*
- Cassel, D.K. y Nielsen, D.R. (1986): "Field capacity and available water capacity". *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Madison. Wisconsin, USA, 901-926.*
- Cline, M.G. (1944): Principles of soil sampling. *Soil Science*, 58, 275-288.
- Estébanez, J. y Bradshaw, R.P. (1979): *Técnicas de cuantificación en Geografía.* Ed. Tebar Flores. Madrid.
- Guitián, F. y Carballas, T. (1976): *Técnicas de análisis de suelos.* Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- Henin, S.; Gras, R. y Monnier, G. (1976): *El perfil cultural.* Mundi-Prensa, Madrid.
- Llorca, R. (1991): *Prácticas de edafología.* Univ. Politécnica de Valencia.
- Martínez, J. (1996): *Variabilidad espacial de las propiedades físicas e hídricas de los suelos en medio semiárido mediterráneo. Cuenca de la Rambla de Perea (Murcia).* Univ. de Murcia.
- Peña, D. (1995): *Estadística. Modelos y métodos. I. Fundamentos.* Alianza Universidad Textos. Madrid.
- Rodríguez, J. (1993): *Métodos de muestreo. CIS, colección Cuadernos Metodológicos, 1.* Madrid.
- Vallejo, V.R.; Cortina, J.; Fons, J.; Romanya, J. y Sauras, T. (1993): *Estrategias de muestreo en suelos forestales. El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación.* MAPA. SECS. Salamanca, 1717-1726.
- Youngs, E.G. (1983): Soil physical theory and heterogeneity. *Agr. Water Management*, 6, 145-159.
- Youngs, E.G. (1987): Estimating hydraulic conductivity values from ring infiltrometer measurements. *J. Soil Sci.*, 38, 623-632.
- Young, E.G. (1991): Infiltration measurements. A review. *Hidrological processes*, 5, 309-320.

SUELOS POLICÍCLICOS EN EL MACIZO GABROICO DE MONTE CASTELO (GALICIA, ESPAÑA): ESTUDIO DE SU EVOLUCIÓN EDÁFICA

M.J. FERNÁNDEZ SANJURJO, G. CORTI⁽¹⁾, F.C. UGOLINI⁽¹⁾

Dpto. Edafología e Química Agrícola. Facultade de Biología. Universidade de Santiago de Compostela, 15706, Santiago de C. (España)

⁽¹⁾ Dpto. di Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta. Università di Firenze. Piazzale delle Cascine, 28, 50144 Firenze (Italia)

Abstract. The soils of Galicia, NW Spain, developed on a gabbro parent material, often include one or more buried profiles. In the buried soil the interstratified kaolinite-smectite abounds, gibbsite is present in traces and the Fe oxyhydroxydes are mostly represented by goethite. In the modern soil the interstratified mineral is absent, gibbsite abounds and the Fe oxyhydroxydes are constituted by maghemite. Chemical results confirm that the modern solum has originated under conditions that strongly contrast with those that favoured the formation of the buried one. We inferred that the interstratified kaolinite-smectite is a fossil mineral that could help in reconstructing the pedogenetic history of these soils.

Keywords: kaolinite-smectite interstratified, leaching, weathering, buried soil, pedogenetic processes

Resumen. Los suelos de Galicia desarrollados sobre gabro frecuentemente presentan uno o dos perfiles enterrados, lo que indica que se trata de superficies relativamente estables y con una compleja edafogénesis. Con el objetivo de conocer los procesos que dieron lugar a la formación de estas superficies, se estudian las características químicas y mineralógicas de un suelo policíclico desarrollado en el macizo gabroico de Monte Castelo (Galicia, España). En el perfil enterrado se ha encontrado un interstratificado caolinita-esmectita, trazas de gibbsita y goethita. En el perfil actual, el interstratificado está ausente, abunda la gibbsita y los óxidos de Fe están representados principalmente por maghemita. Estos datos, junto con los resultados químicos, muestran que las condiciones de formación de ambos ciclos son muy diferentes y nos permiten seguir la evolución de este suelo. En este sentido, el interstratificado caolinita-esmectita se considera un mineral fósil que ayuda a reconstruir la historia edafogenética de esta zona

Palabras clave: interstratificado caolinita-esmectita, drenaje, alteración, suelo enterrado, edafogénesis

INTRODUCCIÓN

El concepto de inercia edafogenética, introducido por Bryan y Teakle (1949), indica que ciertas propiedades del suelo tienden a

persistir incluso cuando los factores responsables de su formación han dejado de actuar. Este concepto es la base para interpretar los rasgos de los paleosoles según las condiciones ambientales del pasado. Sin embargo, no

todas las propiedades del suelo tienden a persistir. Según Yaalon (1971), ciertas características tienen duración limitada mientras que otras permanecen por más tiempo.

El paisaje de Galicia, formado durante el Terciario, ha sufrido una considerable evolución morfológica, alternándose episodios de estabilidad, durante los cuales se han originado perfiles de alteración, con episodios de erosión y sedimentación. Esto explica por qué se encuentran, en menos de 2 m de profundidad, hasta 5 discontinuidades edafológicas y varios perfiles enterrados. Esta compleja historia evolutiva ha interesado a muchos investigadores y se han publicado numerosos trabajos sobre las propiedades químicas y micromorfológicas de estos suelos (e.g. Múcher et al., 1972; Puga Pereira et al., 1978; Macías Vázquez, 1981; García-Rodeja et al., 1987); no obstante no se ha estudiado con detalle la mineralogía de estos suelos policíclicos que, aparentemente, presentan los minerales habituales en los suelos de esta zona. Sin embargo, los trabajos de Corti y Fernández Sanjurjo (1993) y Corti et al., (1998) han puesto de manifiesto la presencia de un interestratificado caolinita-esmectita en los horizontes enterrados. El descubrimiento de este interestratificado es importante porque, por un lado, es el responsable de la formación de caolinitas de pequeño tamaño (Corti y Fernández Sanjurjo, 1993) y por otro, la presencia de capas esmectíticas, inusuales en estos suelos, podría tratarse de un relicto de antiguas edafogénesis.

El objetivo de este trabajo es reconstruir la edafogénesis de la zona utilizando los datos químicos y mineralógicos de un suelo policíclico desarrollado en un macizo gabroico del centro de la provincia de A Coruña. En concreto se intentará: i) aportar información sobre la evolución mineralógica del perfil actual y enterrado, ii) interpretar estas propiedades en función de los procesos edáficos y de alteración y iii) especular sobre los eventos responsables de su formación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras se recogieron en las proximidades de Santiago de Compostela (Galicia, España), en el macizo gabroico de "Monte Castelo". La temperatura media anual de la zona es de 11,0° C, con 17,6°C para el mes más cálido (Agosto) y 6,4°C para el mes más frío (Enero). La precipitación media anual es de 1600 mm. Según la clasificación de Kôppen (1923) se trata de un clima mesotérmico húmedo (csb). El área presenta una exposición Sur y una altitud de 400 m s.l.m.. La superficie aparece ligeramente ondulada con una pendiente del 3 al 4%, y con algunos fragmentos gruesos en superficie. La vegetación es de tipo arbustivo representada principalmente por *Ulex europaeus*, *Erica cinerea*, *E. erigena*, *Pteridium aquilinum* y *Calluna vulgaris*.

Los suelos poseen un buen drenaje en superficie, con tendencia a disminuir en profundidad; no se evidencian actualmente condiciones de hidromorfía. Varios perfiles abiertos en la zona presentan una organización estratigráfica muy similar, con un suelo actual en la superficie, de 60-65 cm de espesor, desarrollado sobre clastos de gabro fresco conteniendo material coluvial; este suelo actual se encuentra separado de un suelo enterrado y truncado por una línea de piedras. El suelo enterrado se ha desarrollado a partir de la alteración in situ de la roca gabroica y presenta una fuerte alteración con propiedades próximas a un Oxisol. Dos secciones abiertas a 1,5 km (Macías Vázquez et al., 1978) y 5,7 km (García Paz, 1982), aproximadamente, de nuestra zona de estudio presentan características similares. Dado que este tipo de perfiles policíclicos son frecuentes en este macizo gabroico y que poseen una estructura relativamente uniforme, en este trabajo se presentan solamente los datos relativos a un perfil denominado PT2. Este suelo se clasifica como Typic Fulvudand (SSS, 1998). Debido a la gran profundidad del perfil las muestras de roca fresca para analizar no se han podido recoger *in situ* sino de un aflora-

TABLA 1. Descripción del perfil PT2

Profundidad cm	Color Munsell	Textura	Estructura	Consistencia	Plasticidad	Poros	Bordes	Observaciones
		†	‡	§	¶	#	‡‡	§§
A	2.5YR2/4	al	2f gm	hfi; mola	molp	3mi&mf&f&f&m&gr	gd	fr con recubrimientos de Mn
BA	5YR3/4	l	2f-m gm	hfi; mola	molp	2mi&mf&f, 2m&gr	gd	fr con recubrimientos de Mn línea de piedras
2Bwb1	7.5YR7/6	l	2m bs	hmfi; moa	mop	2mi&mf&f, 1m, 0gr	gd	Nódulos de Fe y Mn
2Bwb2	7.5YR6/6	l	2m-gr bs	hmfi; moa	mop	1mi&mf&f, 0m	gd	Nódulos de Fe y Mn
2Cb	7.5YR5/8							
	5YR5/8		saprolita			1mi&mf		Nódulos de Fe y Mn

†: a=arcillosa, l=limosa.

‡: 2=moderada; f=fina, m=media, gr=gruesa; gm=grumosa, bs= bloques subangulares.

§: h=húmedo, mo=mojado; fr=friable, fi=firme, mfi=muy firme; la=ligeramente adherente, a= adherente.

¶: mo=mojado; lp=ligerament plástico, p=plástico.

#: 0=escasos, 1=pocos, 2=comunes, 3=abundantes; mi=micro, mf=muy finos, f=finos, m=medios, gr=gruesos.

‡‡: g=gradual; d=difuso.

§§: fr= fragmentos rocosos.

miento de gabra próximo. La descripción del perfil se indica en la Tabla 1. La descripción y caracterización general de otros perfiles del área se encuentran en Corti y Fernández Sanjurjo (1993) y Corti et al. (1998).

Las muestras se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de 2 mm. Todos los análisis se han realizado sobre la fracción fina. La textura se ha obtenido por el método de la pipeta de Robinson (Day, 1965), después de la eliminación de la materia orgánica con NaClO (Lavkulich y Wiens, 1970) y de los cementos férricos con ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra y Jackson, 1960). La fracción arena se separó por tamizado. Para la determinación del C orgánico y del N total se utilizó un autoanalizador CNS (Carlo Erba NA 1500 Series 2). El pH se midió potenciométricamente en H₂O y en una solución de NaF 1M tras 2 min de contacto sólido-líquido. Se extrajeron Fe y Al con pirofosfato sódico (Bascomb, 1968) y Fe, Al y Si con oxalato-NH₄ pH 3.8 en la oscuridad (Blakemore et al., 1981) y con DCB (Mehra y Jackson, 1960). Estos elementos se midieron por absorción atómica (AA) (Perkin Elmer 2380).

La submuestra usada para análisis mineralógicos se trató con NaClO (Lavkulich y Wiens, 1970) y DCB (Mehra y Jackson, 1960). Una alícuota de la muestra tratada se fraccionó en arena, limo y arcilla. La muestra total y las fracciones se sometieron a los siguientes tratamientos de diagnóstico: saturación con Mg y K, solvatación con glicerol, calentamiento a 300 y 550 °C. El estudio de los óxidos de Fe se realizó en otra submuestra no tratada con DCB. Las muestras se analizaron por DRX (difractómetro Philips PW 1730, radiación Co K α 1)

Para el estudio de los minerales no cristalinos se trataron las muestras de suelo con H₂O₂ (6%), posteriormente se pasaron por ultrasonidos a 20 kHz durante 15 min y se suspendieron en una disolución acuosa a pH 3.8. El material recogido se sometió a distintas extracciones: con pirofosfato sódico

(Bascomb, 1968), con oxalato amónico a pH 3 en la oscuridad (Blakemore et al., 1981) y con DCB (Mehra y Jackson, 1960); posteriormente se analizó mediante DRX. El contenido de los diferentes oxihidróxidos de Fe cristalinos se estimó combinando los resultados difractométricos y los resultados químicos.

El análisis elemental del suelo se llevó a cabo con un espectrómetro Philips PW 1410.

La capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) se determinó con una solución de BaCl₂ 0.2M y los cationes (Ca, Mg, K y Na) se midieron por AA. El Al y los H intercambiables se extrajeron con KCl 1M y se determinaron por titulación (Yuan, 1959).

Para eliminar los polímeros de Al del espacio interlamilar, las muestras de arcilla se trataron con una solución de NaF 1M, tanto a temperatura ambiente como en ebullición durante 30, 60, 90, 120, 240 y 300 min (relación sólido-líquido, 1:5). Se determinó la CICE de estas arcillas tratadas, saturándolas con una solución de BaCl₂ 0.2M (relación sólido-líquido, 1:10). Las muestras saturadas (arcilla-Ba) se trataron durante 15 min con una solución de MgSO₄ 0.2M (relación sólido-líquido, 1:10) y se determinó el Mg en el sobrenadante con una solución de EDTA 0,025M en presencia de negro-eriocromo T, tamponado a pH 10 con NH₄Cl-NH₄OH.

Todos los análisis se realizaron al menos por duplicado.

RESULTADOS

Suelo actual

El contenido de arcilla de este suelo disminuye con la profundidad (aproximadamente un 10%) (Tabla 2). En el horizonte A, el contenido de C alcanza valores de 100 g kg⁻¹, y el contenido de N total es de 10 g kg⁻¹. Las cantidades de estos dos elementos se reducen hasta 1/3 en el horizonte BA (Tabla 2). Estos altos contenidos de C orgánico y N son frecuentes en los suelos de Galicia (Riveiro Cruz, 1992).

TABLA 2. Análisis físicos y químicos del perfil PT2.

	Textura			Carbón orgánico	Nitrógeno total	pH	
	Arena	limo %	Arcilla			H ₂ O	NaF
A	31.5	27.4	41.0	113.2	10.4	4.86	11.05
BA	32.8	37.6	29.6	35.5	3.6	4.86	10.34
2Bwb1	15.1	31.7	53.3	8.2	0.8	4.61	9.82
2Bwb2	14.2	30.6	55.1	3.6	0.7	4.63	9.27
2Cb	12.7	29.2	50.1	3.6	0.5	4.52	9.24
Roca fresca	-	-	-	0.0	0.0	9.19	nd

nd: no determinado

Los dos horizontes presentan una reacción ácida en H₂O. El pH en NaF es alto en ambos horizontes lo que podría implicar la presencia de materiales no cristalinos. Sin embargo, se han señalado otras causas para estos altos valores de pH; según Shoji y Ono (1978), el Al complejado con las sustancias húmicas en el horizonte A de Andosoles puede reaccionar con el NaF y provocar una fuerte reacción básica. En este sentido, en el horizonte superficial del perfil PT2 la mayoría del Al extraíble está complejado orgánicamente (Tabla 3).

En la Tabla 3 se presentan las cantidades de Fe y Al extraídos por pirofosfato (Fep, Alp) y las de Fe, Al y Si extraídos por oxalato-NH₄ ácido (Feo, Alo, Sio) y DCB (Fed, Ald, Sid). Como se ha indicado anteriormente, la mayoría del Al en los dos horizontes se encuentra en forma de complejos orgánicos (Alp), representando el 85% y el 74% del Alo para el horizonte A y BA respectivamente. En el horizonte superficial, el Alo es más alto que el Ald; esto podría sugerir la presencia de aluminosilicatos de bajo grado de orden, tales como la imogolita o el alófano (Dahlgreen y Ugolini, 1991); en este sentido, si calculamos la relación atómica Si/Al [(Alo - Alp / Sio] se obtiene un valor de 2.3, lo que podría indicar

la presencia de minerales alófano/imogolita ricos en Al. Sin embargo, la cantidad de estos minerales sería muy escasa ya que al multiplicar los valores de Sio por el factor de 10 (Parfitt, 1990) obtenemos un valor de 20 g kg⁻¹, correspondiente al 2% de alófano/imogolita. En el horizonte BA, la cantidad de Sio es de 1.4 g kg⁻¹; este es el valor límite aproximado para la presencia de aluminosilicatos de bajo grado de orden (Parfitt, 1990). Las mayores cantidades de Sid respecto a Sio indicarían la existencia de material *allophane-like* (Wada, 1989) o de gran cantidad de Si como impurezas en los minerales de Fe.

La suspensión de los suelos a pH 3.8 consigue extraer sólo el 1.6% de material seco para ambos horizontes. Además, la mitad de este material se trata de minerales cristalinos y 1/4 de oxihidróxidos de Fe (datos no mostrados). Así, la cantidad de aluminosilicatos de bajo grado de orden en este suelo se considera despreciable.

El Fed es claramente más alto que el Feo (Tabla 3) sugiriendo el predominio de los minerales de Fe cristalinos. La presencia de Ald en ambos horizontes (22.4 y 15.8 g kg⁻¹, respectivamente) puede justificarse por la sustitución de Fe por Al en los óxidos de Fe (Schwertmann, 1988). Resultados similares a

TABLA 3. Fe, Al y Si extraídos en pirofosfato sódico, oxalato-NH₄ a pH 3 y DCB en las muestras del perfil PT2.

	pirofosfato		oxalato NH ₄ pH 3			DCB			Fe _d -Fe _o	(Al _o -Al _p)/Si _o
	Fe	Al	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si		
	g kg ⁻¹									
A	7.7	25.5	10.7	30.1	2.0	39.2	22.4	8.2	28.5	2.3
BA	6.7	11.3	10.8	15.2	1.4	64.4	15.8	6.0	53.6	2.8
2Bwb1	0.6	2.5	1.8	3.0	0.3	90.8	12.4	4.6	89.0	1.7
2Bwb2	0.1	1.0	1.2	3.0	0.2	88.4	9.2	5.6	87.2	10.0
2Cb	0.0	0.6	1.2	2.6	0.1	85.6	9.2	5.1	84.4	20.0
Roca fresca	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	3.6	0.2	0.1	3.4	-

Fe_d = hierro extraído en DCB; Fe_o = hierro extraído en oxalato-NH₄ pH 3; Al_o = aluminio extraído en oxalato NH₄ pH 3; Al_p = aluminio extraído en pirofosfato; Si_o = silicio extraído en oxalato NH₄ pH 3.

éstos han sido obtenidos por García-Rodeja et al. (1987) en varios Andosoles de Galicia.

En el horizonte A, los minerales de Fe cristalinos indicados por los datos químicos, están representados por maghemita e ilmenita (Tabla 4); en el horizonte BA se encuentra, además, goethita. La ilmenita sería heredada

del material parental mientras que los minerales de neoformación, maghemita y goethita, son más abundantes en el horizonte BA. Este hecho puede explicarse por el alto contenido de materia orgánica en el horizonte A, la cual dificulta la formación de oxidróxidos de Fe cristalinos (Schwertmann, 1986).

TABLA 4. Contenido de oxihidróxidos de Fe en el perfil PT2.

	goethita	maghemita g kg ⁻¹	ilmenita
A	0.0	18.7	9.8
BA	14.1	31.2	8.2
2Bwb1	86.5	2.0	0.5
2Bwb2	84.8	1.9	0.5
2Cb	82.0	1.8	0.6
Roca fresca	0.0	0.0	3.4

En el suelo actual los minerales primarios tienden a aparecer sólo en la fracción arena, o como trazas (anfíboles y piroxenos) o a bajos niveles (feldespatos) (Tabla 5). El cuarzo predomina en la arena pero también aparece en la arcilla de ambos horizontes. Respecto a la fracción arcilla, los principales minerales son la vermiculita hidroxialumínica (VH), la caolinita y la gibbsita. Los tratamientos de diagnóstico (saturación con Mg y

solvatación con glicerol) demuestran que la esmectita está ausente de ambos horizontes. La gibbsita es un mineral muy común en suelos de Galicia y su presencia se ha asociado con los estados iniciales de alteración en suelos bien drenados (Macías Vázquez, 1981). Se observa una menor formación de gibbsita en el horizonte A respecto al BA (Tabla 5), donde el efecto de retención del Al por parte de las sustancias húmicas es mayor.

TABLA 5. Composición mineralógica de la muestra total y de las fracciones arcilla, limo y arena del perfil PT2. Todas las muestras han sido tratadas con DCB.

Muestra total	Fracción	F	A	Pi	Q	T	Cl	E	Ol	Gr	M	VH	K-S	K	Gi
A	arcilla	(+)	tr	tr	++++(+)	-	-	-	-	-	tr	++(+)	-	+	+
	limo	-	-	-	+++	-	-	-	-	-	-	++(+)	-	++	++(+)
	arena	++	(+)	tr	+++++	tr	-	-	-	-	tr	++(+)	-	++	(+)
BA	arcilla	(+)	tr	tr	++++(+)	-	-	-	-	-	tr	++(+)	-	++(+)	++(+)
	limo	tr	-	-	+	-	-	-	-	-	-	++	-	+++	++++
	arena	(+)	(+)	tr	+++++	-	-	-	-	-	tr	++	-	++(+)	(+)
2Bwb1	arcilla	-	tr	-	+++++	tr	-	-	-	-	tr	+	-	+	tr
	limo	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	tr	tr	+++(+)	++++	(+)
	arena	-	tr	-	+	-	-	-	-	-	tr	tr	+++	++++	(+)
2Bwb2	arcilla	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	tr	tr	+++	++++	(+)
	limo	-	tr	-	+	-	-	-	-	-	tr	tr	+++	++++	(+)
	arena	-	(+)	-	+++(+)	-	-	-	-	-	tr	tr	+++(+)	++++(+)	(+)
2Cb	arcilla	-	-	-	+	-	-	-	-	-	tr	-	+++++	++++(+)	tr
	limo	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	tr	-	+++++	++++	tr
	arena	-	-	-	+++(+)	-	-	-	-	-	-	-	+++++	++++(+)	tr
Roca fresca	arcilla	-	-	-	+	-	-	-	-	-	tr	-	+++++++(+)	-	tr
	limo	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	tr	-	+++++++(+)	-	tr
	arena	-	-	-	+	-	-	-	-	-	tr	-	+++++++(+)	-	tr
		-	-	-	+++	-	-	-	-	-	-	-	+++++++(+)	-	tr
Roca fresca	+++++	++	++	tr	tr	(+)	(+)	(+)	tr	-	-	-	-	--	-

F = feldespatos; A = anfíboles; Pi = piroxenos; Q = cuarzo; T = talco; Cl = clorita; E = epidota; Ol = olivino; Gr = granate; M = micas; VH= vermiculita hidroxialumínica; K-S = interstratificado caolinita-esmectita; K = caolinita; Gi = gibbsita.
 + ≈10%; (+) ≈ 5%; tr = trazas; - = ausente.

Estos resultados indican que los coloides inorgánicos del suelo actual están formados principalmente por minerales de la arcilla y no por minerales de bajo grado de orden. Esta característica es típica de Andosoles no alofánicos (Shoji et al., 1985).

Los bajos valores de CICE (Tabla 6) pueden explicarse por: 1) la escasez de cargas en la materia orgánica debido a la abundancia del Al complejado, y 2) el bloqueo de las cargas por parte de los polímeros de Al formados en el espacio interlaminar de la vermiculita, único mineral 2:1 presente. El Al es el catión de cambio predominante y la saturación de

bases es del 43% en ambos horizontes (Tabla 6). La CIC aumenta considerablemente después de someter a la arcilla a ebullición en una solución de NaF durante 120 min (Fig. 1); para tiempos de ebullición mayores la CIC disminuye debido a la destrucción de las capas minerales.

A partir de los datos de la composición elemental (Tabla 7), se observa que el suelo actual es más pobre en Si, Mg, Ca y Na que la roca fresca, enriqueciéndose en Al, Fe, Ti y K. Estos datos pueden explicar la baja relación molar Si/Al de estos suelos.

TABLA 6. Cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) y saturación de bases (SB) del perfil PT2.

	Cationes intercambiables						CICE	SB
	Ca	Mg	K	Na	Al	H		
	cmol(+) kg ⁻¹							%
A	1.2	0.5	0.3	0.4	2.9	0.3	5.6	42.9
BA	0.5	0.2	0.3	0.5	1.7	0.3	3.5	42.9
2Bwb1	1.8	0.2	0.1	0.3	7.4	0.4	10.2	23.5
2Bwb2	1.3	0.2	0.1	0.3	8.6	0.4	10.9	17.4
2Cb	2.3	0.2	0.1	0.3	7.7	0.6	11.2	25.9

TABLA 7. Composición elemental del perfil PT2.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Otros	Si/Al*
	g kg ⁻¹									
A	378.6	355.7	214.2	23.1	11.5	5.4	2.3	2.4	6.9	1.80
BA	349.0	374.2	222.6	22.3	14.0	5.5	2.4	2.9	7.1	1.56
2Bwb1	430.6	338.8	197.2	15.7	9.1	0.7	0.7	5.3	1.9	2.18
2Bwb2	450.6	320.7	196.0	16.3	8.3	0.1	0.4	4.9	2.7	2.41
2Cb	460.0	315.0	193.3	14.0	8.8	0.1	0.4	5.8	2.6	2.48
Roca fresca	528.5	159.3	84.5	11.9	95.5	83.3	20.3	0.9	5.3	5.86

* relación molar

Suelo enterrado

Aunque la edad de este suelo enterrado no es conocida, tuvo que pasar suficiente tiempo para formarse una saprolita. Los tres horizontes se caracterizan por un alto contenido de arcilla ($\approx 50\%$) (Tabla 2). Las cantidades de C orgánico y N total son claramente inferiores a las del suelo actual, encontrándose los mayores contenidos de ambos elementos (8.2 y 0.8 g kg⁻¹, respectivamente) en el horizonte inmediatamente inferior a la línea de piedras (2Bwb1). Los valores de pH en H₂O para los tres horizontes se encuentran entre 4.5 y 4.6 y el pH en NaF en el intervalo 9.2-9.8 (Tabla 2).

Las cantidades de Al_p y de Al_o son muy bajas (Tabla 3), indicando la escasa importancia del Al complejado orgánicamente y la ausencia de alófono/imogolita. Las cantidades de Al_d son menores que en el suelo actual y, como en ese caso, atribuidas al Al incluido en la estructura de los óxidos de Fe. Los niveles de Si_o también son bajos, confirmando la ausencia de aluminosilicatos de bajo grado de orden. Además, tratando estos horizontes a pH 3.8 no aparece ningún material en suspensión.

El Fe extraíble (Tabla 3) está prácticamente en su totalidad en forma cristalina (Fed - Feo), con valores que varían entre 84 y 89 g kg⁻¹, bastante más altos que los del suelo actual (≈ 29 -54 g kg⁻¹). La mayoría del este Fe cristalino se encuentra en forma de goethita mientras que la contribución de la maghemita e ilmenita es muy escasa (Tabla 4).

En este suelo enterrado los minerales primarios más abundantes en la roca (feldespatos anfíboles y piroxenos) prácticamente han desaparecido. Igualmente, los minerales como talco, clorita, epidota, olivino y granate, que están presentes como accesorios en la roca, también han sido alterados durante la edafogénesis y no aparecen ni en el suelo actual ni en el enterrado. El mineral claramente más abundante en estos horizontes enterrados es el interstratificado caolinita-esmectita, cuyas características mineralógicas se encuentran en

Corti et al. (1998). Este mineral se considera precursor de la caolinita (Corti y Fernández-Sanjurjo, 1993); así, se puede observar que mientras el interstratificado caolinita-esmectita disminuye desde el horizonte 2Cb al 2Bwb1, la caolinita tiende a aumentar (Tabla 5). Por otro lado, la gibbsita se encuentra en menores proporciones que en el suelo actual.

La CICE de los horizontes enterrados, con unos valores de 10-11 cmol(+) kg⁻¹, es más alta que la de los horizontes actuales (Tabla 6). Estos valores pueden atribuirse a la mayor cantidad de fracción arcilla (Tabla 2) y minerales de la arcilla (Tabla 5) en el suelo enterrado. Sin embargo, la saturación en bases es menor en el ciclo antiguo ya que el Al de cambio representa el 70% de la CICE. La CIC después del tratamiento con NaF (Fig. 1) alcanza su máximo a los 240 min de ebullición para el horizonte 2Bwb1, después de 120 min para el horizonte 2Bwb2 y a temperatura ambiente para el 2Cb. Esto puede significar que el grado de condensación de los hidróxidos de Al dentro de los minerales 2:1 tiende a disminuir con la profundidad.

En este suelo enterrado, el contenido total de Mg, Ca y Na es inferior al del suelo actual y al de la roca fresca (Tabla 7). El Al, Fe y Ti son también más bajos que en el suelo actual pero superiores a los de la roca fresca, mientras que una tendencia contraria se observa para el Si. En términos de relación molar Si/Al, el suelo enterrado presenta valores más elevados que el actual, indicando condiciones más favorables para la estabilidad de las capas esmectíticas.

DISCUSIÓN

Las características químicas y mineralógicas del suelo actual y del enterrado sugieren que los dos ciclos se han formado bajo diferentes condiciones ambientales.

La pedogénesis actual está desarrollándose bajo un clima mesotérmico húmedo, que, según García-Rodeja et al. (1987), favo-

rece los procesos de andosolización. En el suelo actual, la ausencia de goethita en el horizonte A puede atribuirse al alto contenido de materia orgánica que impide su formación. Sin embargo, la presencia de compuestos orgánicos, en combinación con los frecuentes incendios que ocurren en esta área, contribuirían a la formación de maghemita (Schwertmann y Taylor, 1989). En el horizonte BA, donde el contenido de materia orgánica es menor, además de maghemita aparece la goethita. Los minerales secundarios están representados por VH, caolinita y

gibbsita. Estos minerales son característicos de suelos lavados y con alta actividad de Al; en este ambiente la caolinita puede formarse por aluminización de las vermiculitas (Wada y Kakuto, 1983) o por alteración de feldespatos (Harris et al., 1980). Los valores de la CIC de la arcilla (Fig. 1) son ~5 veces más altos en el horizonte A, indicando que en este horizonte la vermiculitas presentan un menor carácter hidroxialumínico que en el horizonte BA. Evidentemente las sustancias húmicas en el horizonte superior dificultan la formación de polímeros hidroxialumínicos.

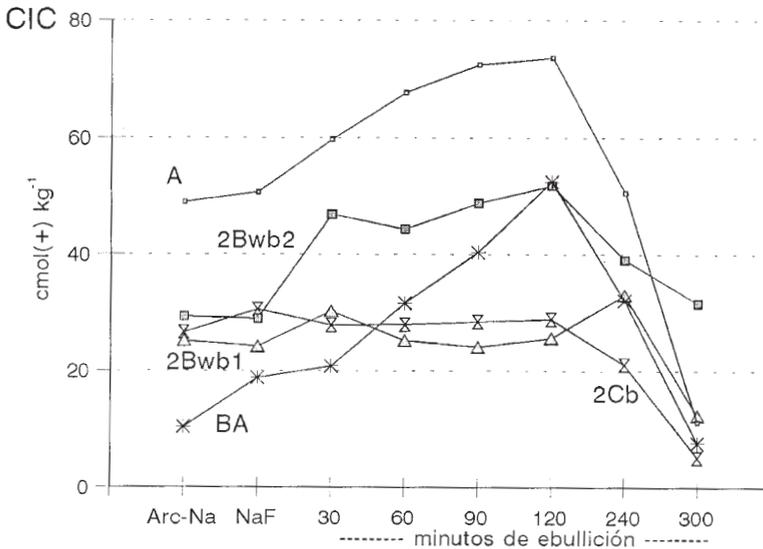


FIGURA 1. CIC de la arcilla sódica (arc-Na) y tratada con NaF a temperatura ambiente (NaF) y a ebullición durante varios periodos de tiempo.

En el suelo enterrado, la goethita predomina entre los minerales de Fe cristalinos, probablemente debido al bajo contenido de materia orgánica. Además, la alteración de ilmenita puede producir goethita (Fitzpatrick et al., 1978). Entre los filosilicatos secundarios destaca el interstratificado caolinita-esmectita, mientras que los minerales vermiculíticos están ausentes. La presencia simul-

tánea de capas de esmectita y de caolinita no es muy frecuente en los suelos ya que sus condiciones de formación se consideran muy diferentes. La esmectita es estable a baja actividad de Al y alta actividad de Si (Karathanasis y Hajek, 1984), así, generalmente se encuentra en suelos expuestos a condiciones de agresividad relativamente bajas. Contrariamente, la caolinita es un

mineral que está en equilibrio en suelos con alta actividad aluminica (Dixon, 1989). El interestratificado caolinita-esmectita se considera el paso intermedio a través del cual, por progresiva aluminización, la esmectita se transforma en caolinita (e.j. Jackson, 1962; Karathanasis y Hajek, 1983). Este proceso es activo, aparentemente, en el perfil PT2, donde el interestratificado tiende a disminuir hacia la parte alta del suelo enterrado, mientras la caolinita sigue una tendencia opuesta. Esto demuestra que la esmectita se forma primero y, posteriormente, su estructura se reorganiza y se transforma en caolinita.

A partir de estos resultados se podría deducir que la presencia del interestratificado caolinita-esmectita indica una variación en las condiciones ambientales durante el desarrollo de este suelo. Una variación de menor a mayor drenaje explicaría adecuadamente la formación de la estructura mineralógica encontrada en este suelo. Esta modificación podría haber sido inducida tanto por un incremento de la precipitación como por una elevación topográfica, la cual conllevaría un incremento del drenaje.

La composición elemental de los diferentes horizontes confirma la hipótesis de la variación de las condiciones de drenaje. En el suelo actual, el enriquecimiento en Fe y Al es indicativo de la fuerte agresividad de la actual pedogénesis. En el suelo enterrado, la menor acumulación de estos elementos y la mayor relación molar Si/Al evidencian el carácter moderado de la alteración. Sin embargo, estas condiciones han tenido que ser mantenidas por un tiempo relativamente largo para obtener la drástica reducción del Mg, Ca, Na y la desaparición de anfíboles, piroxenos e ilmenita, además de la formación de esmectita.

Durante el periodo de menor drenaje se produce la formación de esmectita, probablemente a partir de la alteración de piroxenos y olivinos (Craig y Loughnan, 1964; Loughnan, 1969). Posteriormente, con el aumento del drenaje; el suelo pierde los

cationes básicos solubles y aumenta la actividad del Al; esto provoca una progresiva aluminización de los minerales esmectíticos y la formación de caolinita a través del interestratificado caolinita-esmectita. La llegada del coluvio de piedras protege el suelo original de los agentes de alteración y explica que se mantenga todavía en la actualidad el interestratificado caolinita-esmectita. El suelo actual se ha desarrollado a partir del coluvio y, probablemente, sólo bajo las nuevas condiciones ambientales.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han estudiado las características químicas y mineralógicas de un suelo policíclico, y se ha visto que los dos ciclos se han desarrollado bajo condiciones ambientales muy diferentes. A partir de los datos obtenidos se ha llegado a la conclusión de que el suelo sufrió un cambio climático o topográfico. El suelo enterrado se formó inicialmente en condiciones de baja intensidad de alteración. En este ambiente, con alta actividad de Si y de cationes básicos, se formaban en primer lugar minerales esmectíticos. Posteriormente, aparece un incremento del drenaje y, consecuentemente, una mayor alteración, suficiente para inducir la progresiva aluminización de esmectita, y su transformación en caolinita a través del interestratificado caolinita-esmectita. La llegada del coluvio de piedras provoca un truncamiento del suelo original y su protección frente a la alteración, facilitando la permanencia del interestratificado caolinita-esmectita hasta la actualidad. El suelo actual se desarrolló a partir de este coluvio y bajo condiciones ambientales más agresivas, lo que explica la presencia de VH, caolinita, gibbsita y óxidos de Fe, así como la ausencia de minerales esmectíticos.

Dentro de la historia evolutiva de este suelo, el interestratificado caolinita-esmectita puede ser considerado un mineral fósil, relicto de una antigua edafogénesis.

Agradecimientos. Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento al Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo (CNR-Florenzia, Italia) por la ayuda instrumental y al Dr. E. García-Rodeja por sus útiles sugerencias.

REFERENCIAS

- Bascomb, C.L., (1968). Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.* 19, 251-256.
- Blakemore, L.C., Searle, P.L., Daly, B.K., (1981). Soil Bureau Laboratory Methods: Methods for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau, Scientific Report No 10a. Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, New Zealand.
- Bryan, W.H., Teakle, L. J. H., (1949). Pedogenic inertia - a concept in soil science. *Nature* 164, 969.
- Corti, G., Fernández-Sanjurjo, M. J., (1993). Trasformazione pedogenetica di smectite in caolinite in un suolo acido della Galicia (Spagna). *Quaderni di Scienza del Suolo* 5, 5-22.
- Corti, G., Fernández-Sanjurjo, M. J., Ugolini, F.C., (1998). Randomly interstratified kaolinite-smectite from Galicia (NW Spain): A new procedure for determination. *Clays Clay Min.* 46, 705-711
- Craigh, D.C., Loughnan, F.C., (1964). Chemical and mineralogical transformations accompanying the weathering of basic volcanic rocks from New South Wales. *Aust. J. Soil Res.* 2, 218-234.
- Dahlgreen, R.A., Ugolini, F.C., (1991). Distribution and characterization of short-range-order minerals in Spodosols from the Washington Cascades. *Geoderma* 48, 391-413.
- Day, P.R., (1965). Particle fractionation and particle-size analysis. En *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling.* Black, C.A., Evans, D.D., Ensminger, L.E., White, J.L., Clark, F.E., eds. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA, 545-567.
- Dixon, J.B., (1989). Kaolin and serpentine group minerals. En: *Minerals in soil environments.* Dixon, J.B., Weed, S.B., eds. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, 161-198.
- Fitzpatrick, R.W., Le Roux, J., Schwertmann, U., (1978). Amorphous and crystalline titanium and iron titanium oxides in synthetic preparations at near ambient conditions and in soil clays. *Clays Clay Min.* 26, 189-201.
- García Paz, C., (1982). Estudio de la meteorización de rocas básicas en Galicia. PhD Dissertation, Universidad de Salamanca, Spain.
- García-Rodeja, E., Silva, B. M., Macías Vázquez, F., 1987. Andosols developed from non-volcanic materials in Galicia, NW Spain. *J. Soil Sci.* 38, 573-591.
- Jackson, M. L., (1962). Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. *Clays Clay Min.* 11, 29-46
- Harris, W. G., Iyengar, S.S., Zelazny, L.W., Parker, J. G., Lietzke, D. A., Edmons, W. J., (1980). Mineralogy of a chronosequence formed in new river alluvium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 862-868.
- Karathanasis, A. D., Hajek, B. F., (1983). Transformation of smectite to kaolinite in naturally acid soil systems: structural and thermodynamic consideration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 158-163.
- Karathanasis, A. D., Hajek, B. F., (1984). Evaluation of aluminium-smectite stability equilibria in naturally acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 413-417.
- Köppen, W., (1923). *Die klimare der Erde.* Grundriss der Klimakunde, de Gruyter (ed.), Berlin, 369.

- Lavkulich, L. M., Wiens, J. H., (1970). Comparison of organic matter destruction by hydrogen peroxide and sodium hypochlorite and its effect on selected mineral constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 755-758.
- Loughnan, F.C., (1969). Chemical weathering of the silicate minerals. American Elsevier Publ. Co, New York, 27-66
- Macías Vázquez, F., Puga Pereira, M., Guitián Ojea, F., (1978). Suelos de la zona húmeda española. IX. Estudio de una catena sobre gabros. *Anales de Edafología y Agrobiología* 1-2, 117-138.
- Macías Vázquez, F., (1981). Formation of gibbsite in soils and saprolites of temperate-humid zones. *Clay Min.* 16, 43-52.
- Mehra, O. P., Jackson, M. L., (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Min.* 7, 317-327.
- Mücher, H. J., Carballas, T., Guitián Ojea, F., Jungerius, P. D., Kroonenberg, S. B., Villar, M. C., (1972). Micromorphological analysis of effects or alternating phases of landscape stability and instability on two soil profiles in Galicia, NW Spain. *Geoderma* 8, 241-266.
- Parfitt, R. L., (1990). Allophane in New Zealand – A review. *Aust. J. Soil Res.* 28, 343-360.
- Puga Pereira, M., Macías Vázquez, F., Guitián Ojea, F., (1978). Pedogenetical and geomorphological cycles in a catena of Galicia, NW Spain. *Catena* 5, 375-387.
- Riveiro Cruz, A., (1992). Datos para la evaluación agronómica de la provincia de La Coruña. Ensayo de una metodología. PhD Dissertation, Universidad de Santiago de Compostela, Spain.
- Schwertmann, U., Kodoma, H., Fisher, W.R., (1986). Mutual interactions between organics and iron oxides. En: Interactions of soil minerals with natural and microbe Huang, P.M., Schnitzer M., eds. Interactions of soil minerals with natural and microbes. Spec. Publ., 17. SSSA. Madison, WI, USA, 223-250
- Schwertmann, U., (1988). Goethite and hematite formation in the presence of clay minerals and gibbsite at 25°C. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 288-291.
- Schwertmann, U., Taylor, R.M., (1989). Iron oxides. En: Minerals in soil environments. Dixon, J.B., Weed, S.B., eds. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, USA, 379-438.
- Shoji, S., Ito, T., Saigusa, M., Yamada, I., (1985). Properties of nonallophanic Andosols from Japan. *Soil Sci.* 140, 264-277.
- Shoji, S., Ono, T., (1978). Physical and chemical properties and clay mineralogy of Andosols from Kitakami, Japan. *Soil Sci.* 126, 297-312
- Soil Survey Staff, (1998). Keys to Soil Taxonomy. Eighth edition. U.S.D.A., N.R.C.S., U.S. Government. Printing Office, Washington, DC, USA, 326.
- Wada, K., (1989). Allophane and Imogolite. En: Minerals in soil environments. Dixon, J.B., Weed, S.B., eds. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, USA, 1051-1087.
- Wada, K., Kakuto, Y., (1983). Intergradient vermiculite-kaolin mineral in a Korean Ultisol. *Clays Clay Min.* 31, 183-190.
- Yaloon, D. H., (1971). Soil forming processes in time and space. En: Paleopedology: Origin, Nature and Dating of Paleosols. Yaloon, D.H., ed. Int. Soc. Soil Sci., Israel Univ. Press, Jerusalem, Israel, 29-39.
- Yuan, T. L., (1959). Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration method. *Soil Sci.* 88, 164-167.

SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO EN OLIVAR DE ANDALUCIA

M. PASTOR, J. CASTRO, M. D. HUMANES y J. MUÑOZ

C.I.F.A. "Alameda del Obispo". Córdoba.
Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Conferencia del V Congreso Nacional de Suelos (Baeza, 2000)

1.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS TÉCNICAS DE MANEJO DEL SUELO EN OLIVAR.

En la mayoría de las zonas olivareras mediterráneas la lluvia es el único aporte hídrico para el olivar, siendo el agua el factor limitante de la producción de este cultivo. La distribución anual de la pluviometría es marcadamente estacional, con un periodo muy seco (junio-septiembre), y un período lluvioso, otoño-invierno, en el que en el año medio se produce el 70 % de la pluviometría total anual. Esta época lluviosa además está caracterizada por las bajas temperaturas y una escasa actividad vegetativa del olivo, por lo que el consumo de agua en transpiración es reducido. Durante buena parte de la primavera y en verano los olivos satisfacen sus necesidades hídricas a costa de las reservas de agua almacenadas en el suelo durante la estación lluviosa, siendo muy importante almacenar en el terreno la mayor cantidad posible de las precipitaciones de lluvia. Pero ello no es suficiente, es necesario además conservar el agua almacenada, reduciendo las pérdidas por evaporación desde el suelo, y limitar el consumo por las malas hierbas, que en determinados momentos puede ser importante

(Pastor, 1989a). En la optimización del uso del agua juega un papel importantísimo el sistema de cultivo utilizado.

La erosión del suelo por el agua es uno de los problemas más importantes de la olivicultura española. El olivar es uno de los cultivos en los que las pérdidas de suelo son mayores, muy superiores a las observadas en cultivos de cereal/girasol o en zonas de pastizal o matorral. Según estimaciones de López-Cuervo (1990), más de 80 toneladas de suelo por hectárea se pierden anualmente en los cultivos leñosos en Andalucía, pérdidas que son aún mayores en los suelos de olivar con fuertes pendientes (Laguna, 1989).

Diversos factores intrínsecos hacen que el problema de la erosión sea consustancial con el olivar: cultivo en suelos en pendiente; climatología de tipo mediterráneo, alternándose periodos de sequía con lluvias de gran intensidad en un corto período de tiempo; suelos arcillosos con baja velocidad de infiltración, con una marcada hidrofobia en el momento en que se producen las primeras lluvias otoñales; y escasa cobertura del suelo por el cultivo.

La erosión es consustancial con la agricultura, y en especial con la agricultura mediterránea, por lo que la lucha contra las perdi-

das de suelo es a priori difícil. Sin embargo, la adopción de determinadas prácticas de cultivo puede reducir globalmente la erosión a nivel parcela, e incluso a nivel de la cuenca hidrográfica si la adopción de estas prácticas se hiciese de forma colectiva y coordinada.

Prácticas agrícolas, como el laboreo, han influido decisivamente en la aceleración del proceso erosivo. Debemos ser conscientes de

que el laboreo no es una forma natural de mantenimiento de un suelo en un olivar, ya que al desagregar las partículas y al destruir la cubierta natural, es el sistema de cultivo que genera las mayores pérdidas de suelo. Sistemas alternativos como el no-laboreo, mínimo laboreo o el cultivo con cubierta vegetal pueden contribuir a reducir globalmente las pérdidas de suelo.

TABLA 1: Producciones de aceitunas obtenidas en dos ensayos a largo plazo de sistemas de cultivo en olivar con tratamientos de Laboreo (L) y No-laboreo (NL). Finca El Guijarrillo (Santaella, Córdoba). Se muestran igualmente los aumentos (+) o pérdidas (-) de producción observados en NL con respecto a L.

Años	ENSAYO 1			ENSAYO 2		
	Laboreo	No-Laboreo	NL / L	Laboreo	No-Laboreo	NL / L
1979	36,5	48,7	+33			
1980	23,4	18,6	-21			
1981	28,3	38,9	+37			
1982	59,6	65,1	+9			
1983	25	29,9	+20			
1984	47,9	54,1	+13	50,9	47,7	-6
1985	22	19,8	-10	35,9	44,5	+24
1986	37,3	47,3	+27	47,5	46,4	-2
1987	61,1	69,1	+13	55,9	57,1	+2
1988	31,3	32,1	+3	22,6	17,4	-23
1989	17,8	34,4	+93	6,4	6	-5
1990	53,2	55,6	+5	61	66,8	+10
1991	24,9	36,6	+47	27,5	25,9	-6
1992	31,3	32,5	+4	29,6	24,7	-17
1993	2,3	13,2	+474	0	0	0
1994	9,4	40,7	+333	10,4	28,8	+177
1995	0	0	0	0	0	0
1996	37,7	57,9	+54	45,9	52,4	+14
1997	41,9	54,9	+31	44,3	48,4	+10
1998	55,2	72,5	+31	42,1	42,6	+1
1989 a 83	34,6	40,2	+16			
1984 a 88	39,9	44,5	+12	42,6	42,6	0
1989 a 93	25,9	34,5	+33	24,9	24,7	-1
1994 a 98	28,8	45,2	+57	28,5	34,4	+21
MEDIA	32,3	41,1	+27	32	33,9	+6

A la hora de elegir un sistema de cultivo deberíamos conocer las características de la explotación en su conjunto, aplicando a cada parcela, o incluso a cada subparcela, la técnica más adecuada a sus características.

En los últimos años mucho se ha discutido sobre cual es el sistema más idóneo de cultivo para el olivar, existiendo ardientes defensores de los sistemas sin laboreo del suelo, mientras que otros agricultores han defendido a ultranza el laboreo. En el estado actual de conocimientos no nos atrevemos a dar a ninguno de ellos totalmente la razón.

Son muy ilustrativos los datos de dos ensayos realizados durante veinte años en una explotación de la localidad de Santaella en la provincia de Córdoba. En esta finca existe un olivar adulto con una superficie de unas 60 has, aparentemente homogéneo y que vegeta en un suelo arcilloso calizo, relativamente llano, en el que en 1978 se inició un primer ensayo de sistemas de cultivo en el que se compararon las producciones obtenidas en laboreo tradicional y en no-laboreo (NL) con control de las malas hierbas con herbicidas. En la Tabla 1 (Ensayo 1) se presentan las producciones obtenidas en este ensayo, así como el aumento o pérdidas de producción observada en NL con respecto al cultivo tradicional (valores negativos significan pérdidas de producción en NL). En dicha tabla vemos como en el Ensayo 1 en la gran mayoría de los años, y desde el comienzo del ensayo, las producciones en NL superaron a las obtenidas en el olivar labrado, lo que legítimamente nos llevaría a recomendar esta práctica de cultivo en dicha explotación.

Conocidos estos datos por el propietario de la finca, este nos manifestó sus reservas para extrapolar estos excelentes resultados al resto de su explotación, de la que presumía ser un buen conocedor. Ante esta opinión, en el año 1983 se planteó un nuevo ensayo con diseño similar al anterior, distante tan solo unos 300 metros, en un suelo más arcilloso y con una ligera pendiente (3-4 %). Los resul-

tados obtenidos en este segundo ensayo muestran como en los 10 primeros años no se obtuvo en NL aumento de producción, con pérdida de cosecha en 6 de los 10 años (Tabla 1 – Ensayo 2). La reducción de la velocidad de infiltración en NL, ocasionó una disminución en las disponibilidades de agua en el suelo para el cultivo (Pastor, 1991), siendo esta la principal causa de las pérdidas de producción observadas, habiéndose evaluado (Gómez Calero, 1998) que la escorrentía producida en NL fue un 30% superior a la producida en L. Este hecho legítimamente llevaría a poner en duda la conveniencia de la práctica del NL en esta parcela. Sin embargo, a partir del comienzo del periodo de sequía, años 1993 a 1995, los resultados fueron totalmente diferentes, observándose en NL unas mayores producciones medias que en L (21%) con un espectacular aumento de cosecha en 1994.

Este ejemplo muestra claramente lo difícil que es realizar generalizaciones sobre las técnicas de cultivo más recomendables en olivar, sin haber tenido en cuenta previamente la naturaleza de suelo, disponibilidades de agua, topografía del terreno, cambios que a largo plazo se producen en el suelo y en los árboles, etc. Por ello, nunca deberíamos hablar de un único sistema de cultivo válido para el olivar en general, ni siquiera para una determinada explotación, ni para todos los años, sino que una vez bien conocidas las características de una determinada explotación (tipo de suelo, destino de la producción, pluviometría media, pluviometría del año agrícola, etc.), nos inclinaremos probablemente por varios de ellos, o por la utilización de sistemas mixtos, combinando dos o más de estos sistemas, debiéndose discutir previamente sus ventajas e inconvenientes, para posteriormente aplicarlos correctamente.

El sistema de cultivo que utilicemos debe cumplir, en principio, las exigencias siguientes:

a) Optimizar el aprovechamiento del agua de lluvia, principal factor limitante de la producción del olivar.

b) Permitir al cultivo el aprovechamiento integral del suelo.

c) Conservar el suelo, defendiéndolo de la erosión.

d) Facilitar la realización de todas las demás prácticas de cultivo, en especial la recolección de frutos, cuyo coste debe ser minimizado.

Como es natural, un sistema perfecto no existe, por lo que a continuación vamos a intentar describir y discutir las posibles ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas de cultivo alternativos al laboreo. En la Tabla 2 se presenta, de forma esquemática, diferentes propuestas de alternativas de cultivo que podrían utilizarse en el cultivo del olivar en seco.

TABLA 2: Esquema de las diferentes alternativas de cultivo que pueden emplearse en olivar.

SISTEMAS DE CULTIVO EN OLIVAR	Con suelo desnudo	Laboreo convencional				
		No-laboreo				
		Laboreo reducido	Semilaboreo			
			Mínimo laboreo			
	Con cobertura de suelo	Con cubierta inerte	Hojas y restos de poda triturados			
			Piedras			
			Paja			
			Materias diversas			
		Con cubierta vegetal viva	Malas hierbas	Sin manejo específico		Química con herbicida
				Siega		Mecánica
Con cobertura de suelo	Con cubierta vegetal viva	Pastoreo				
		Cereal		Química con herbicida		
		Planta cultivada con crecimiento controlado mediante siega		Siega	Mecánica	
		Leguminosa		Pastoreo		

2.- SISTEMAS DE CULTIVO EN OLIVAR.

2.1.- El laboreo.

El laboreo es el sistema de cultivo más ampliamente utilizado en olivicultura, hasta el punto que se han considerado como sinónimos los términos labrador y agricultor, lo que indica la gran importancia histórica del laboreo en el conjunto de las técnicas de cultivo. El principal objetivo del agricultor cuando realiza las labores es aumentar las disponibilidades de agua para el cultivo.

Son diversos los aperos de labranza empleados por el olivarero. En la actualidad el de uso más frecuente en España es el cultivador de brazos flexibles, empleado para realizar las labores de invierno y primavera, y cuya misión es preparar el suelo para infiltrar el agua de lluvia invernal y eliminar las malas hierbas cuando estas tienen un pequeño desarrollo. Esta labor se realiza con el terreno en tempero y alcanza una profundidad entre 15-20 cm.

La grada de discos es empleada fundamentalmente en primavera para eliminar las malas hierbas cuando estas alcanzan un cierto desarrollo. La profundidad de esta labor varía entre 15 y 25 cm. Este apero, al voltear el suelo, ocasiona grandes pérdidas de agua por evaporación, especialmente cuando se utiliza en primavera, época en la que la demanda evaporativa es grande, dando lugar también a la compactación del suelo en profundidad, formando suelas de labor poco permeables, lo que puede limitar la infiltración del agua en profundidad, aspectos ambos de los que no siempre es consciente el olivarero.

Finalmente, en verano, cuando la superficie del suelo está totalmente seca, se realizan frecuentes labores muy superficiales, empleando gradas de púas o rastras, cuya misión, según el olivarero, es pulverizar el suelo y tapar las grietas, intentando con ello romper la capilaridad y evitar así la evaporación de agua desde el suelo. No existen evidencias claras sobre la eficacia agronómica

de este tipo de labores, ya que la apertura de grietas tiene lugar cuando el suelo ya se ha desecado.

La última de las operaciones de cultivo, que se realiza a final del verano, es la preparación del terreno para la recolección de la aceituna, utilizándose para ello un rulo compactador liso, siendo frecuente el empleo de un herbicida residual a dosis baja bajo la copa de los olivos, normalmente simazina, pretendiéndose con ello mantener el suelo libre de malas hierbas hasta el final de la recolección, lo cual viene siendo ya habitual en cualquiera de los sistemas de cultivo empleados por los olivareros andaluces.

En los últimos años se observa una clara tendencia a reducir la profundidad y el número de labores, por lo que muchos agricultores están empleando el vibrocultivador como único apero de labranza, apero que consideramos muy idóneo en gran parte de nuestros olivares

2.2.- No-laboreo con suelo desnudo.

Un sistema alternativo al laboreo aplicable al cultivo de olivar es el denominado no-laboreo con suelo desnudo (NLD), sistema en el que se suprime totalmente el laboreo, eliminando las malas hierbas mediante la aplicación de herbicidas residuales en otoño y en preemergencia, dejando el suelo libre de vegetación adventicia durante todo el año.

Antes de iniciar la aplicación de esta técnica es necesario preparar correctamente el suelo bajo la copa de los olivos, lo que facilitará la recolección rentable de los frutos caídos al suelo de forma natural, que suele ser frecuente en algunas variedades y años.

El herbicida residual más empleado ha sido simazina (2-3 kg/ha), que se aplica en otoño sobre la superficie del suelo, sin incorporar con una labor. Simazina es un herbicida inhibidor de la fotosíntesis de amplio espectro, muy selectivo para los olivos adultos, y que a pesar de ciertos inconvenientes que plantea su uso, sigue siendo el herbicida más

eficaz y polivalente en olivar después de más de veinte años de empleo, y es el socio obligado de muchas de las nuevas moléculas que han aparecido o aparecen en el mercado. No tiene acción de contacto sobre hierbas ya emergidos.

Diurón es otro de los herbicidas más recomendados en olivar. También es muy selectivo para el cultivo, controlando las malas hierbas al inhibir su fotosíntesis, mostrando una cierta acción de contacto sobre malas hierbas de pequeño desarrollo cuando se añade un mojante. Controla muchas de las especies que escapan a la acción de simazina, por lo que suele ser recomendable la mezcla de estas dos materias activas.

Otros herbicidas persistentes autorizados en España, tales como clortoluron, oxifluorfen, terbutilazina, terbutrina, y tiazopir, entre otros, pueden ser empleados en olivar como alternativa a simazina y/o diurón.

Es frecuente que el control de las malas hierbas no sea total con alguno de los herbicidas anteriores, recomendándose en primer lugar el cambio de herbicida, y en segundo lugar la mezcla de algunos de ellos, según el tipo de malas hierbas a controlar. Nunca debería abordarse una mejora en el control mediante un aumento de las dosis.

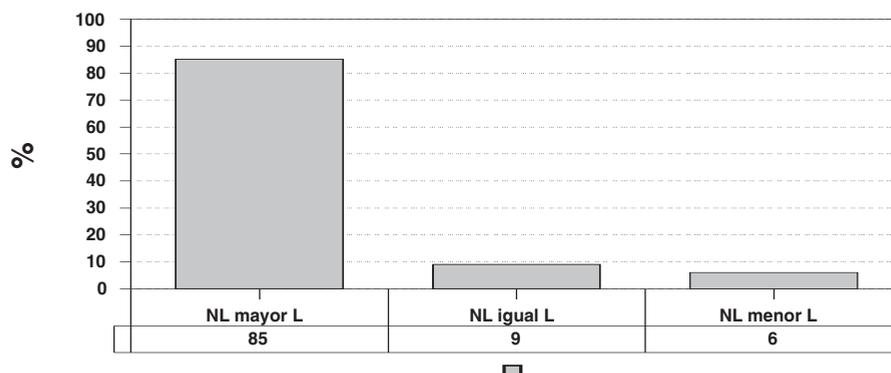
Como consecuencia del empleo reiterado de un determinado herbicida es frecuente que aparezcan rodales de especies tolerantes/resistentes a los anteriores herbicidas. Estas especies, si no son correctamente controladas, acaban invadiendo las parcelas (inversión de flora). Para evitar este problema, es necesario realizar tratamientos herbicidas localizados. Como en la mayoría de los casos se trata de especies perennes, recomendamos la utilización de los herbicidas de traslocación autorizados, tales como glifosato, sulfosato, glifosato + MCPA, o fluroxipir. La elección de la materia activa y la dosis dependerá de la especie a controlar y del desarrollo de la misma en el momento de la aplicación (Saavedra y Pastor, 1994).

Hay que tener en cuenta que la eficacia de la técnica de NLD va a depender en gran medida de la eficacia en el control de las malas hierbas, debido a los problemas de competencia por agua y nutrientes que estas pueden plantear.

Como alternativa a los herbicidas residuales puede recurrirse al empleo de herbicidas de contacto o traslocación realizando los tratamientos en postemergencia temprana. Podemos recomendar los siguientes herbicidas: aminotriazol, diquat + paraquat, fluroxipir, glifosato, glifosato + MCPA, glufosinato de amonio, sulfosato, o sus mezclas, a dosis que varían en función del tipo de malas hierbas a controlar, o de su desarrollo en el momento del tratamiento (Saavedra y Pastor, 1994). Normalmente son necesarias varias aplicaciones para mantener el suelo totalmente limpio durante todo el año.

Con el empleo del NLD se consiguieron excelentes resultados en el cultivo del olivar en Andalucía (Pastor y Guerrero, 1990), con mayores o similares cosechas que en laboreo convencional en el 95 por 100 de los ensayos (Figura 1), con un aumento medio de producción del 16 por 100 para el conjunto de los 88 ensayos que durante varios años se realizaron bajo revisión oficial. Los años secos fueron los más favorables al NLD, incluso en ensayos en los que durante años se venían observando pérdidas de producción en NLD (ver Tabla 1).

En parcelas en las que simultáneamente se da la circunstancia de existir una pronunciada pendiente y un suelo con marcada tendencia al sellado de su superficie, es en las que NLD proporciona los peores resultados, debido a las pérdidas de agua de lluvia por escorrentía superficial, por lo que en estos casos sería recomendable la aplicación de otros métodos de cultivo diferentes al NLD, o hacer modificaciones al sistema para captar la escorrentía producida.



**AUMENTO MEDIO DE PRODUCCION EN NL
EN EL CONJUNTO DE LOS 88 ENSAYOS = 16 %**

FIGURA 1: Resumen de los resultados de los ensayos sobre técnicas de no-laboreo realizadas por diferentes Organismos Oficiales en Andalucía. Cada uno de los ensayos a los que se hace referencia se mantuvo en observación un mínimo de cuatro años. En la mayoría de los casos, la técnica de no-laboreo proporciona consistentes aumentos de producción con respecto al laboreo convencional. El deficiente control de las malas hierbas y la reducción de la infiltración fueron los causantes de las malas resultados obtenido en no-laboreo en cinco de los ensayos.

2.3.- Semilaboreo

Se trata de un sistema mixto L. convencional - NLD, sistema consistente en aplicar herbicida residual en la línea de árboles, o solamente bajo la copa de los olivos, dejando esta zona sin labrar, realizando el laboreo convencional en el centro de las calles. Mediante el empleo de esta técnica se obtuvo, durante cuatro años en cuatro olivares de la provincia de Jaén, un aumento medio de producción del 7 % con respecto al laboreo convencional (Hermoso y Morales, citados por Pastor (1991). Esta técnica puede ser muy recomendable en suelos con marcada tendencia a la formación de costra superficial, ya que en NLD se produce una fuerte reducción de la infiltración,

2.4.- Mínimo laboreo.

La técnica de mínimo laboreo (ML) es bastante parecida al semilaboreo, con la diferencia de realizarse solamente una o dos labores muy superficiales (5 cm) durante el

año, cuya misión es romper la costra superficial que limita la infiltración, aplicándose herbicida a toda la superficie para poder mantener la vegetación controlada durante todo el año. Debe quedar claro que en este sistema el objetivo del laboreo superficial no es controlar las malas hierbas, sino mejorar la infiltración de agua en el suelo.

Las labores superficiales se realizarán cuando las pérdidas de agua como consecuencia del laboreo sean mínimas, y cuando además no dañemos el sistema radical del olivo, por lo que no es recomendable labrar durante la primavera. El mejor momento de realizar las labores sería a principio de verano, cuando la capa superficial está ya seca, siendo suficiente con esta única labor anual. Sin embargo, existen ciertos tipos de suelo cuya superficie se endurece excesivamente tras su desecación, especialmente cuando llevan varios meses sin ser labrada, por lo que en verano sería casi imposible el laboreo. En este caso deben realizarse dos labores muy

superficiales anuales, la primera de ellas durante el invierno, labrando una segunda vez en verano, lo que preparará el terreno para recibir las lluvias otoñales.

Comparando el ML con técnicas de referencia tales como el laboreo convencional y NLD se ha observado como la producción media fue mayor que en laboreo, y equiparable a la obtenida en NLD.

En olivares que vegetan en suelos en pendiente y/o en los muy arcillosos, con marcada tendencia a la formación de costra, fue en las que el sistema de ML proporcionó los resultados más interesantes con relación a NLD.

2.5.- Sistemas de cultivo con cubierta.

Desde el punto de vista del control de la erosión y tratando de mejorar la infiltración y fertilidad del suelo, el cultivo con cubierta vegetal puede ser la solución más eficaz (Blevins, 1986). Sin embargo, el cultivo con una cubierta viva puede presentar, por diversos motivos, ciertas dificultades en un cultivo de secano como el olivar. Como vemos en el esquema presentado en la Tabla 2, existen dos posibilidades para lograr la cobertura del suelo: las cubiertas inertes y las cubiertas vivas. Cualquier estrategia que permita de un modo económico cubrir el suelo, sin que se establezca competencia por el agua con el olivo, siempre es recomendable. A continuación realizaremos un análisis de diversas estrategias, revisando cual es el posible ámbito de aplicación de cada una de ellas.

2.5.1.- Cultivo con cubierta inerte.

El cultivo con cubierta inerte (plásticos, paja, mantas porosas sintéticas o de origen vegetal, restos vegetales, etc.) parece una utopía en plantaciones adultas, ya que su coste, debido a la cantidad de material necesaria para cubrir el suelo hace inviable su uso en las condiciones actuales.

Pensamos que solamente las hojas desprendidas del propio cultivo y el material de

poda troceado y repartido mecánicamente sobre la superficie del terreno, que tienen una gran persistencia en el suelo, parecen viables en olivicultura.

En suelos pedregosos, las piedras de pequeño y mediano tamaño constituyen también una excelente cobertura. Como es natural, en un cultivo con cobertura de piedras se impone la aplicación de prácticas de NL.

2.5.2.- Cultivo con cubierta viva de malas hierbas durante el invierno.

Pensando fundamentalmente en la resolución de los problemas de la erosión y en la mejora de la infiltración, puede plantearse el empleo de cubiertas vegetales en el centro de las calles, manteniéndolas vivas hasta el final del invierno, momento en que debe realizarse la siega de la cubierta, lo que evitará que esta siga consumiendo agua.

Durante el invierno, el volumen de agua transpirado por una cubierta de hierba puede ser equiparable a la evaporación directa de agua que se produce desde un suelo desnudo de vegetación, que en esta época lluviosa se mantiene húmedo un gran número de días. Además, la presencia de la hierba aumenta la infiltración, por lo que en un suelo con cubierta vegetal puede haberse almacenado en invierno una mayor cantidad de agua que en un suelo desnudo labrado, tal como vemos en la Figura 2, que muestra la distribución del agua en el perfil del suelo tras un período de lluvias en tres sistemas de cultivo. Además, los restos vegetales secos reducen la velocidad de evaporación de agua desde el suelo, por lo que en primavera el olivo cultivado con cubierta puede disponer de una mayor cantidad de agua para su consumo en transpiración, y por tanto para fabricar asimilados.

El empleo en invierno de cubiertas de malas hierbas segadas químicamente con herbicidas (NLCI) proporcionó muy buenos resultados a largo plazo desde el punto de vista de la producción del olivar (Pastor, 1991), consiguiéndose un aumento de cose-

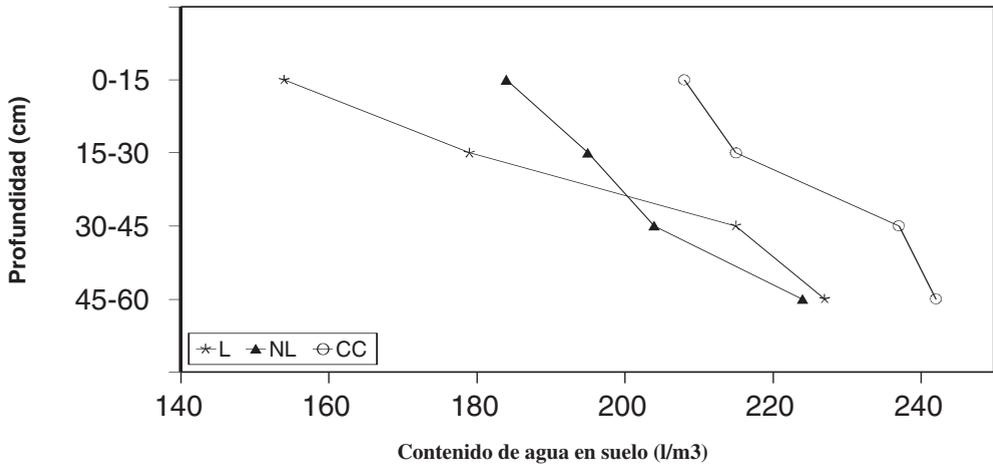


FIGURA 2: Después de un período de lluvias de 115 mm, la técnica de manejo de suelo empleando una cubierta viva de cereal segada químicamente con el herbicida glifosato a mitad del mes de marzo (CC), permitió aumentar la cantidad de agua infiltrada a diferentes profundidades del suelo con respecto a los sistemas de laboreo convencional (L) y no-laboreo con suelo desnudo (NL). Ensayo realizado en Córdoba en un suelo de textura franco-arcillo-arenosa. En el momento de la siega química (16/03/92), la infiltración en los tres sistemas de cultivo había sido muy similar. Observaciones 14/04/92

cha del 21 % con respecto al laboreo para el conjunto de los 10 ensayos realizados. Sin embargo, la producción en NLCI fue ligeramente inferior a la del NLD.

La mayor dificultad que plantea el cultivo con este tipo de cubierta viva de invierno es el adecuado manejo de las malas hierbas, lo que podría plantear en muchos casos ciertos problemas al agricultor. Entre ellos podríamos destacar la inversión de flora, como consecuencia de un uso incorrecto de los herbicidas o del inadecuado manejo de la cubierta (Pastor et al., 1986), y la competencia por el agua y nutrientes entre las malas hierbas y el cultivo (Pastor, 1989a), bien por un poco eficaz sistema de siega, o por realizar la siega cuando la cubierta ya ha consumido una buena parte del agua del suelo (Castro, 1993).

En el año medio en la provincia de Córdoba debe segarse la cubierta durante la

tercera semana del mes de marzo, adelantando dicha fecha de siega en los años más secos (Pastor, 1989a). Se recomienda igualmente realizar una aportación de nitrógeno complementaria al abonado del olivar. Existen diferentes sistemas para la siega de la cubierta:

- Siega mecánica empleando segadoras convencionales o desbrozadoras accionadas por la t.d.f. del tractor, que en determinados casos pueden ocasionar ciertos problemas de manejo de tipo mecánico, especialmente en los suelos pedregosos o en los que tienen una cierta pendiente.

- Siega química pulverizando herbicidas de contacto o traslocación sobre las malas hierbas que constituyen la cubierta.

Se ha intentado utilizar sistemas de siega mecánica para el control de la transpiración de la cubierta vegetal. Sin embargo, los resultados han sido poco satisfactorios por lo que no nos atrevemos a recomendarlos en el oli-

var de secano, ya que en unos casos debido al rebrote de la hierba, y en otros a la selección de la flora hacia especies de porte rastroso o perennes, han ocasionado graves problemas de competencia por agua y nutrientes con el cultivo, lo que se traduce inevitablemente en importantes reducciones en la producción del olivar (Civantos y Torres, 1981; Pastor, 1991).

Muy ilustrativos son los resultados de un ensayo a largo plazo planteado en 1975 en la localidad de Navas de San Juan en la provincia de Jaén (Figura 3), que muestran como el manejo con siega mecánica ocasionó anualmente y durante un período de 19 años unas pérdidas medias de cosecha del 69 % con respecto a la siega química con herbicida de contacto.

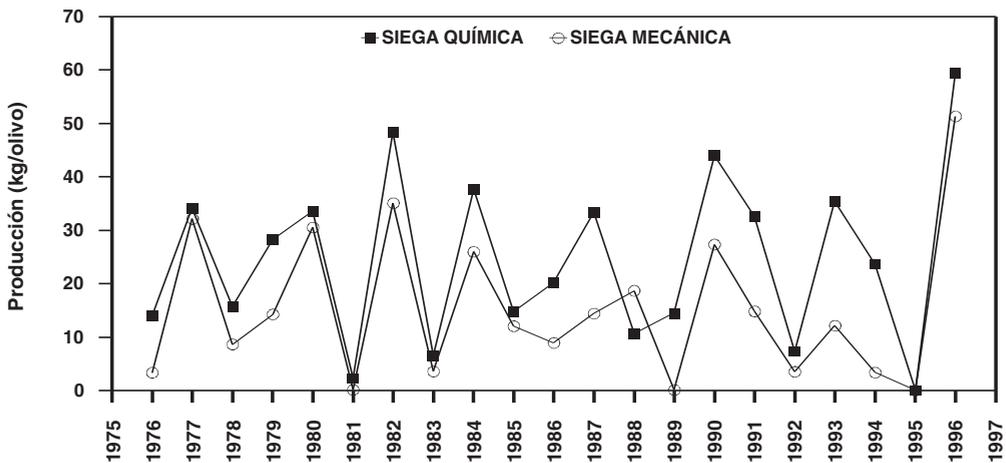


FIGURA 3: Comparación de producciones de sistemas de manejo de suelo con cubiertas vegetales vivas, segadas químicamente y mecánicamente. Finca Salido Bajo (Jaén). Los sistemas de siega química, muestran unas mayores producciones a lo largo de los años, ya que limitan eficazmente el consumo hídrico de las plantas de la cubierta.

Intentando facilitar el manejo de la cubierta proponemos el empleo de coberturas en las que predomine una única especie, o una mezcla de especies de una única familia, lo que puede conseguirse, entre otras formas, haciendo evolucionar la flora natural mediante el empleo de herbicidas. Por ejemplo, aplicando en invierno herbicidas como M.C.P.A., tribenuron o fluroxipir, que controlan únicamente las especies de hoja ancha, lo que hace evolucionar a corto plazo la vegetación natural hacia una cubierta de gramináceas (*Bromus spp.*, *Hordeum murinum*, *Lolium rigidum*, o *Poa annua*, etc), especies

muy olivareras, que además de ser muy eficaces en la lucha contra la erosión, son fáciles de segar mediante aplicaciones de herbicidas de postemergencia, como glifosato o sulfosato, incluso a dosis muy bajas.

Una vez logrado el tipo de cubierta deseada, es fundamental el correcto manejo de la misma, debiendo asegurarse anualmente que el banco de semillas presente en el suelo permita el establecimiento de dichas especies al año siguiente. Para ello deben dejarse sin segar determinadas zonas para la producción de semillas, procurando que la competencia que pueda establecerse con el olivo no com-

prometa su producción. Bandas estrechas en el centro de las calles es una solución adecuada. Las semillas así producidas deben esparcirse en verano por todo el terreno empleando una rastra o una desbrozadora.

2.5.3.- Cultivo con cubierta viva de cereal o veza.

Cuando utilizando los procedimientos ya descritos no logremos establecer la cubierta adecuada, lo que es frecuente en suelos poco fértiles, probablemente habrá que recurrir a la siembra de una especie vegetal de manejo sencillo en las interlíneas del olivar. Para ello recomendamos especies rústicas adaptadas al cultivo en seco, tales como cebadas (*Hordeum vulgare*) o vezas (*Vicia sativa*), cuyas semillas son fáciles de conseguir, tienen un bajo precio, son de ciclo otoño-invierno, y su cultivo es muy bien conocido por los agricultores.

Durante varios años se han realizado ensayos con este tipo de cubiertas en la provincia de Córdoba (Castro, 1993; Humanes y Pastor, 1995), lo que nos ha permitido aceptar técnicamente la viabilidad agronómica de este sistema de cultivo.

La siembra debe realizarse en los primeros días del otoño, para que las semillas germinen con las primeras lluvias, de modo que en poco tiempo y antes de la llegada de los fríos invernales se consiga una buena cobertura del terreno. La cubierta así obtenida debe dejarse crecer sin otro tipo de cuidado especial durante el periodo otoño-invierno.

Desde el punto de vista de persistencia de los restos vegetales sobre el terreno, aspecto de gran importancia para el control de la erosión, el cereal parece más interesante que la leguminosa, ya que los restos de veza, que tienen una baja relación C/N, son rápidamente degradados por los microorganismos del suelo (Van Huyssteen et al., 1984), por lo que la cantidad de residuos que quedarán sobre el terreno cuando se produzcan las primeras lluvias otoñales será muy escasa, y en conse-

cuencia la protección del suelo puede resultar insuficiente.

Una vez que hemos conseguido una buena cobertura del suelo (un 70 % podría ser suficiente), debe realizarse la siega de la cubierta para evitar que continúe consumiendo agua, eliminando así la competencia con el olivo.

En un año medio y para las condiciones climáticas de Córdoba, la fecha idónea para la siega de la cubierta se sitúa también en torno a la tercera semana del mes de marzo, que en el caso del cereal correspondería fenológicamente al inicio del encañado (Castro, 1993). Esta fecha también podría mantenerse para las cubiertas de veza, momento que fenológicamente parece coincidir con la aparición de las primeras flores (Humanes y Pastor, 1995).

La siega puede realizarse mecánicamente, utilizando desbrozadoras, o químicamente, pulverizando herbicidas de traslocación sobre la cubierta (glifosato o sulfosato), lo cual permite dejar los restos vegetales unidos al suelo por sus propias raíces, lo que parece aumentar la persistencia de los residuos sobre el terreno.

El cultivo con cubierta de cereal demanda un abonado complementario a la fertilización normal del olivar. Podemos cifrar estas necesidades en unas 50 kg/ha de nitrógeno (Van Huyssteen y Van Zyl, 1984), siendo muy importante esta práctica, ya que el bloqueo temporal de nitrógeno puede ocasionar problemas de deficiencia para el cultivo al principio de la primavera, coincidiendo con un momento de grandes necesidades para el olivo. Una solución a este problema podría ser el empleo de leguminosas como cubierta. Una mezcla veza+cebada podría ser igualmente interesante, sin embargo, su manejo es más difícil ya que debido a la gran producción de biomasa podrían consumirse grandes cantidades de agua a lo largo de su ciclo vegetativo.

Durante seis años se han realizado ensa-

yos en tres fincas de la provincia de Córdoba, en los que se ha estudiado el efecto de la cubierta de cereal sobre la producción del olivar. Se ha demostrado (Figura 4) que cuando el manejo de la cubierta es correcto en cuanto a fecha de siembra, tipo de cubierta, fertilización y elección del momento idóneo y modalidad de siega, la producción puede no verse afectada negativamente con respecto al laboreo tradicional o frente al NLD.

Con la finalidad de hacer viable el cultivo con cubierta, es necesario igualmente facilitar la recolección de las aceitunas, operación que representa el coste de cultivo más importante para el olivarero. Para ello, antes de iniciar la aplicación de esta técnica reco-

mendamos la preparación meticulosa de la zona bajo la copa de los olivos, alisándola, despedregándola y aplicando anualmente a principio de otoño, un herbicida residual. Para mantener esta zona libre de malas hierbas.

Los problemas que la aplicación de esta técnica puede plantear al olivarero son la competencia por el agua con el olivo, si la siega no es eficaz, y el peligro de incendio provocado si en primavera y después de la siega no se produjeran lluvias. Sin embargo, una vez que la paja se ha mojado se producen alteraciones microbianas que la hacen poco combustible.

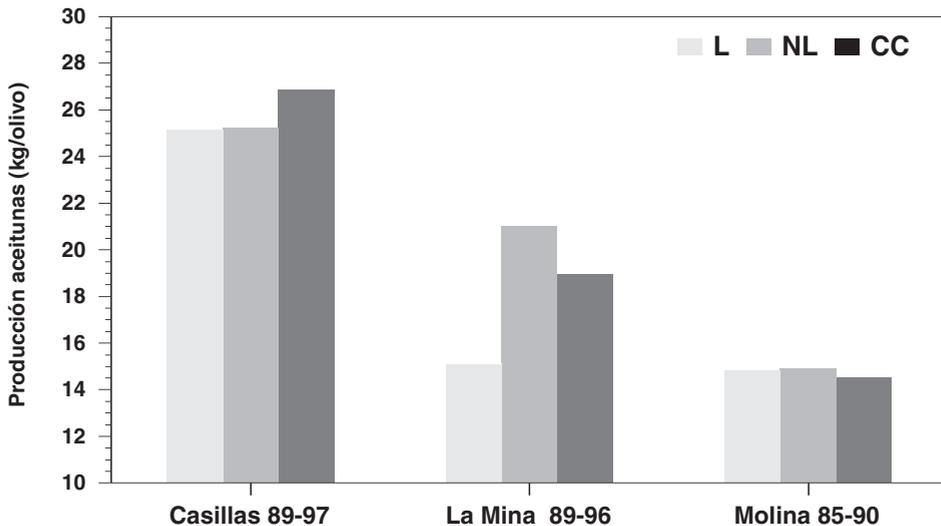


FIGURA 4: El cultivo empleando una cubierta de cebada (CC) sembrada en el centro de las calles, aplicando herbicidas bajo la copa, ha proporcionado resultados interesantes durante varios años en tres olivares de secano de la provincia de Córdoba. A pesar de la presencia del cereal en las calles durante el periodo otoño-invierno, las producciones no se resintieron con respecto a los olivares con suelo desnudo (L y NLD). El secreto es realizar la siega química de la cubierta a final de invierno, cuando se inicia el encañado de la cebada.

3.- FACTORES QUE DETERMINAN LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE CULTIVO

Cuando se modifica el sistema habitual de cultivo, a corto y largo plazo se producen cambios en el suelo, cambios que afectan a sus propiedades físicas y químicas, a la susceptibilidad a la erosión, a la productividad de los árboles y a los costes de cultivo. A continuación haremos una rápida revisión de los cambios que previsiblemente pueden producirse.

3.1- Cambios en las propiedades químicas del suelo

Hemos estudiado la influencia de los sistemas de cultivo sobre algunas propiedades químicas del suelo (Castro, 1993; Muñoz, 1998) tales como contenido en materia orgánica, nitrógeno orgánico, fósforo y potasio asimilables, pH y capacidad de intercambio catiónico. Solamente el contenido en materia orgánica y el de P asimilable se han visto significativamente afectados a largo plazo.

Después de 15 años de aplicación de la técnica de cultivo con cubierta vegetal se ha observado un aumento significativo en el contenido de materia orgánica en la capa más

superficial del suelo (0-2 cm) en el centro de las calles de la plantación, con respecto a los sistemas de cultivo L y NLD, no habiéndose observando diferencias entre sistemas de cultivo a mayores profundidades (Figura 5). La aplicación de la técnica de NLD no ha provocado a largo plazo una reducción significativa del contenido de M.O. con respecto al cultivo tradicional. Bajo la copa de los arboles se observa un contenido en M.O. significativamente mayor que en el centro de la calle en todos los sistemas de cultivo, con unos valores mucho más altos en los sistemas sin laboreo (NLD y cubierta), debido probablemente a la acumulación de hojas de olivo en la superficie del suelo a lo largo de los años y a su parcial humificación, a pesar de no incorporarse en profundidad mediante labores.

En cuanto al P asimilable los mayores valores se observan en cultivo con cubierta vegetal en la capa más superficial (0-2 cm) y en el centro de la calle del olivar, debido probablemente a la descomposición de los restos vegetales acumulados año tras año sobre el suelo, y probablemente porque las plantas de cobertura podrían bombear los nutrientes hasta la superficie. Bajo la copa de los olivos,

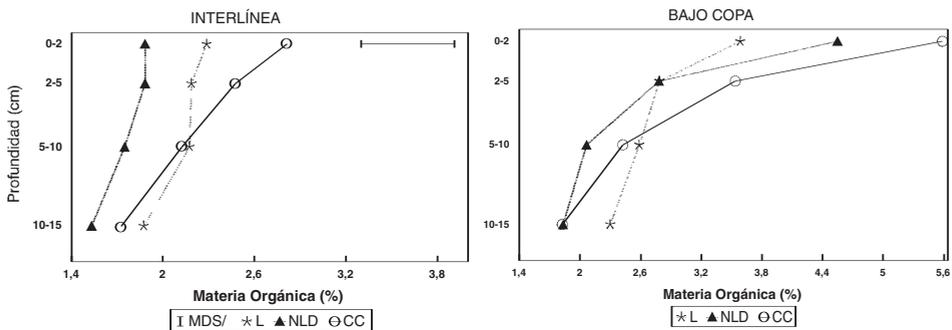


FIGURA 5: Contenidos en materia orgánica en el suelo en los tratamientos L (laboreo), NLD (no-laboreo con suelo desnudo) y CC (cultivo con cubierta vegetal) en los horizontes 0-2, 2-5, 5-10, 10-15 cm de profundidad. La barra que aparece junto a las medidas muestra la mínima diferencia significativa entre tratamientos para una misma localización y profundidad.

también en los sistemas sin laboreo (NLD y cubierta) se observaron en superficie (0-2 cm) valores significativamente mayores que en laboreo. Para la capa 0-15 cm de profundidad en el suelo cultivado sin laboreo es en el que se observaron los mayores contenidos de P bajo la copa de los árboles.

A pesar de haberse observado ciertas diferencias en las propiedades químicas del suelo como consecuencia de los diferentes sistemas de cultivo aplicados, estas modificaciones no parecen haber repercutido de una

forma clara sobre el estado nutritivo de las plantaciones de olivar, y aunque para alguno de los nutrientes y años se han observado diferencias significativas, tal como podemos observar en la Tabla 3, estas diferencias no parecen ser relevantes, ya que al estar los valores observados por encima de los valores considerados como adecuados (Freeman et al., 1994), en principio no cabe esperar una repercusión importante sobre la producción del olivar.

TABLA 3: Contenidos en nutrientes de la hoja de olivos sometidos a diferentes sistemas de cultivo L (laboreo), NLD (no-laboreo con suelo desnudo) y CC (cultivo con cubierta). Los valores de cada nutriente seguidos por letras diferentes muestran diferencias significativas. Se presentan en el último renglón los niveles considerados como adecuados propuestos por FREEMAN et al., (1994).

Tratamientos	1996									
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm
Laboreo	1,72 a	0,14 a	0,94 a	1,16 a	0,14 a	28 a	13 a	27 b	23 a	42 a
No-laboreo	1,75 a	0,13 a	0,99 a	1,36 a	0,15 a	26 a	12 a	28 a	21 a	44 a
Cubierta	1,69 a	0,12 b	0,93 a	1,17 a	0,13 a	26 a	14 a	24 c	21 a	37 a
	1997									
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm
Laboreo	1,46 b	0,10 a	0,71 a	1,49 a	0,15 a	34 a	70 a	30 a	21 a	35 a
No-laboreo	1,58 a	0,11 a	0,88 a	1,48 a	0,14 a	38 a	77 a	32 a	21 a	37 a
Cubierta	1,65 a	0,11 a	0,83 a	1,65 a	0,16 a	47 a	116 a	37 a	20 a	37 a
Nivel adecuado	1,5-2	> 0,08	> 0,8	>1	>0,1	—	>4	>20	>10	19-150
Nivel deficitario	< 1,4	< 0,05	< 0,4	< 0,3	< 0,08	—	—	—	—	< 14

3.2- Cambios en las propiedades físicas del suelo

Se ha realizado igualmente el estudio a largo plazo de la influencia de los sistemas de cultivo sobre algunas propiedades físicas como la densidad aparente, porosidad, compactación (resistencia a la penetración), estabilidad de la superficie del suelo ante el impacto de las gotas de agua de lluvia (susceptibilidad primaria a la erosión), e infiltración, determinando experimentalmente pará-

metros como la conductividad hidráulica y sorptividad, de gran importancia sobre el balance de agua en el suelo.

En los sistemas de cultivo sin laboreo (NLD y cubierta), y especialmente en NLD, se observa una mayor compactación del suelo en su superficie (Figura 6). Sin embargo, tal como podemos ver en la mencionada figura, es en laboreo y en profundidad, debido al paso de los aperos de labranza, donde se detecta la mayor compactación (suela de

labor), que a lo largo del tiempo y lentamente sera descompactado en el sistema de cultivo con cubierta vegetal.

En laboreo la porosidad total y en especial la macroporosidad, son significativamente mayores que en NLD y en cultivo con cubierta, especialmente inmediatamente después de realizarse las labores. Sin embargo, la microporosidad es mayor en NLD y cultivo con cubierta. Bajo la copa de los olivos se observa igualmente una mayor proporción de grandes poros que en el centro de la calle para todos los sistemas de cultivo estudiados.

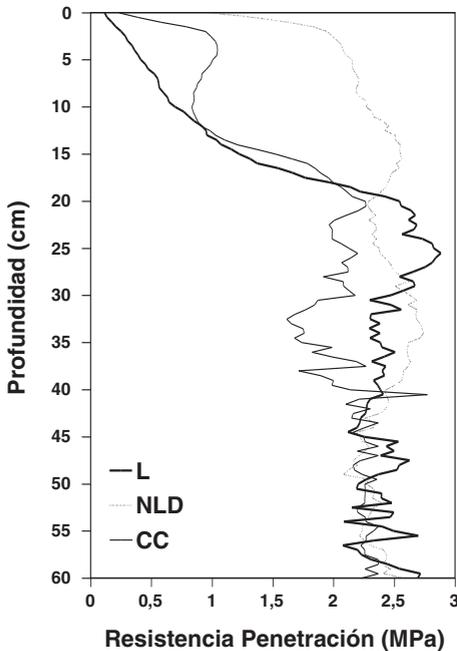


FIGURA 6: Resistencia a la penetración a lo largo del perfil del suelo en las profundidades de 0-60 cm en los tratamientos L (laboreo), NLD (no laboreo con suelo desnudo) y CC (cultivo con cubierta vegetal) en el centro de la calle.

La aplicación de técnicas de no-laboreo, tanto con suelo desnudo como con cubierta vegetal, aumenta la estabilidad de la superficie del suelo a la desagregación por el impacto de las gotas de agua de lluvia, razón por la que un suelo no labrado es menos susceptible a la erosión que uno labrado frecuentemente.

Utilizando un simulador de lluvia se ha medido la infiltración de agua en el suelo, detectándose en todos los sistemas de cultivo una tasa de infiltración bajo la copa de los olivos mucho mayor que en el centro de las calles, explicable por las diferencias observadas en la compactación, en la porosidad y en el contenido en materia orgánica en la capa más superficial del suelo.

En NLD en el centro de la calle, y debido a la compactación superficial y a la formación de la costra, se observa una reducción significativa de la tasa de infiltración (Figura 7), observándose igualmente como la utilización de la cobertura vegetal mejora la infiltración en condiciones de no-laboreo (Figura.7). Debido al impacto de las gotas de agua de lluvia, que provoca la degradación de la capa más superficial, en los suelos labrados poco a poco se va reduciendo la tasa de infiltración conforme se suceden los episodios de lluvia, pudiéndose llegar después de varios aguaceros a una infiltración similar a la observada en NL (Figura 8).

Los sistemas de manejo del suelo afectan a la conductividad hidráulica (tasa de infiltración para tiempos grandes) y a la sorptividad (capacidad de absorción capilar o de movimiento del agua en el perfil) del suelo, observándose valores significativamente menores en condiciones de NLD que en L o en cultivo con cubierta, también explicable por las diferencias de compactación, porosidad y contenido de materia orgánica observadas en la superficie del suelo en los diferentes sistemas de cultivo (Tabla 4 y Figuras 5 y 6).

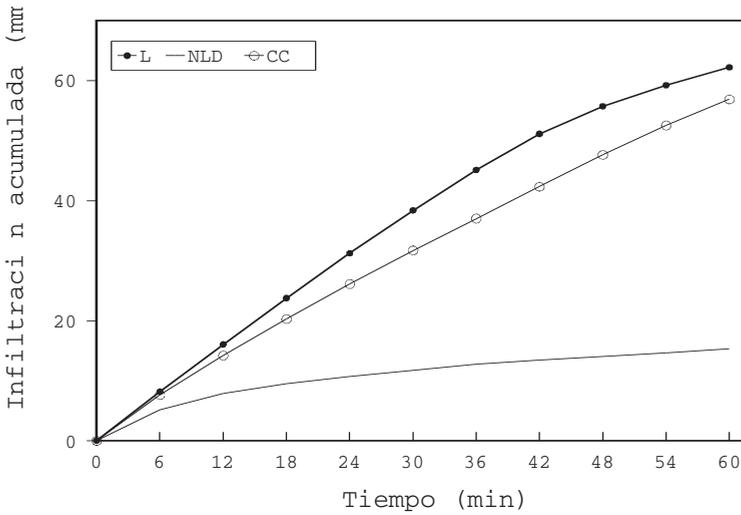


FIGURA 7: Curvas de infiltración acumulada para los tratamientos laboreo (L) no-laboreo (NLD) y cubierta vegetal de cebada (CC) en el centro de la calle. Curvas obtenidas con un infiltómetro de doble anillo.

TABLA 4: Valores de los ajustes al modelo de Philip ($I = S t^{1/2} + A t$; donde I = infiltración acumulada; S = sorptividad; A = conductividad y t = tiempo), según los tratamientos y localización, de los ensayos con doble anillo. Se indica también el ajuste medio (r^2) a los modelos. Las letras que siguen a los parámetros indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de la misma localización.

TRATAMIENTOS	INTERLINEA			BAJO COPA		
	A (mm/h)	S (mm/h ^{1/2})	r ²	A (mm/h)	S (mm/h ^{1/2})	r ²
L antes labor	11,2 ab	14,0 a	0,99	26,4 a	15,9 a	0,99
L después de labor	6 10-6 b	8,1 a	0,82	14,0 a	16,4 a	0,99
L suela de labor	3,4 b	5,0 a	0,99	6,1 a	10,1 a	0,99
NLD	2,1 b	1,7 a	0,99	3,4 a	5,9 a	0,99
CC	21,2 a	12,5 a	0,99	34,0 a	28,7 a	0,99

Los cambios en la conductividad térmica del suelo debido a la aplicación del NL y al efecto pantalla de la cubierta vegetal, determinan igualmente cambios en el régimen térmico de la plantación en los diferentes sistemas de cultivo (Pastor y Castro, 1996), observándose menores temperaturas nocturnas y mayor riesgo de heladas en olivares cultivados con cubierta vegetal, mientras que

en NLD las temperaturas nocturnas son significativamente más altas, incluso mayores que en un suelo labrado. Durante el día es en el cultivo con cubierta donde se observan las temperaturas mayores. En zonas con grandes riesgos de heladas el cultivo con cubierta vegetal es comprometido, especialmente en las zonas de valle.

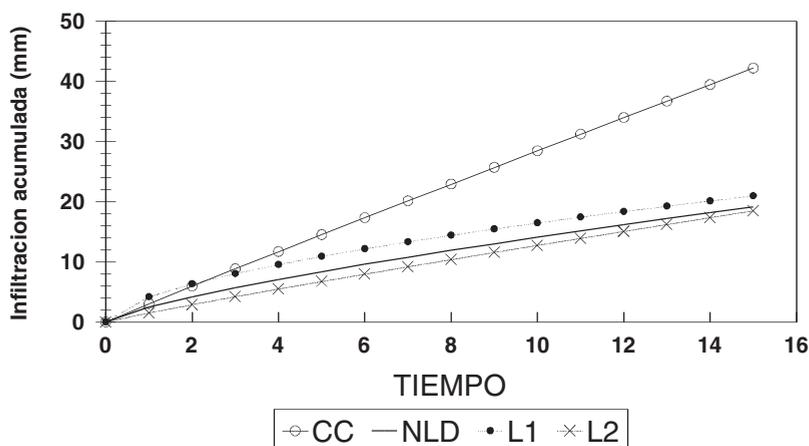


FIGURA 8: Curvas de infiltración acumulada para tratamientos de no-laboreo con suelo desnudo (NLD), cubierta de cebada (CC), laboreo (L) después de una (L1) o dos (L2) lluvias simuladas. Estas curvas se obtienen con un simulador de lluvia.

3.3.- Balance de agua en el suelo

En la mayoría de los olivares de secano las disponibilidades de agua para el cultivo dependen fundamentalmente de la fracción de agua de lluvia infiltrada y almacenada en el suelo, y de las cantidades de agua perdidas por evaporación desde el suelo, cantidades que en zonas áridas y cálidas como la nuestra son cuantiosas y nunca despreciables (Fischer y Turner, 1978).

Los sistemas de manejo del suelo modifican sustancialmente la infiltración y a la evaporación de agua desde el suelo. En los apartados anteriores hemos estudiado las modificaciones en las propiedades físicas de los suelos como consecuencia del cambio sistema de cultivo, lo que finalmente se traducirá en diferencias en las disponibilidades finales de agua. Esto tiene una gran importancia, ya que en zonas áridas y en cultivo de secano, pequeñas variaciones en las cantidades de agua disponibles para el cultivo pueden afectar significativamente a su crecimiento y producción.

El mejor reflejo de las disponibilidades globales de agua en el suelo es el crecimen-

to vegetativo y producción del cultivo medido en unas condiciones en las que la falta de humedad es el principal factor limitante. En estas condiciones es frecuente obtener respuestas mejores en no-laboreo que en suelo labrado (Gras y Trocme, 1977; Zaragoza et al., 1990; Pastor, 1991). En un ensayo realizado en Mengíbar, los olivos cultivados en no-laboreo alcanzaron en el transcurso de los años un mayor volumen de copa y mayor producción que los de la parcela labrada (Figura 9), lo que evidencia unas mayores disponibilidades de agua en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo.

3.3.1.- Infiltración.

Aunque el laboreo aumenta aparente y momentáneamente la velocidad de infiltración (Pastor, 1989b), mediciones de humedad realizadas durante varios años en olivares que vegetan sobre diferentes tipos de suelo y pendiente, muestran como a final del invierno en los terrenos labrados no siempre se almacena mayor cantidad de agua que los que permanecieron sin labrar durante varios años (Figura 10), no habiéndose observado dife-

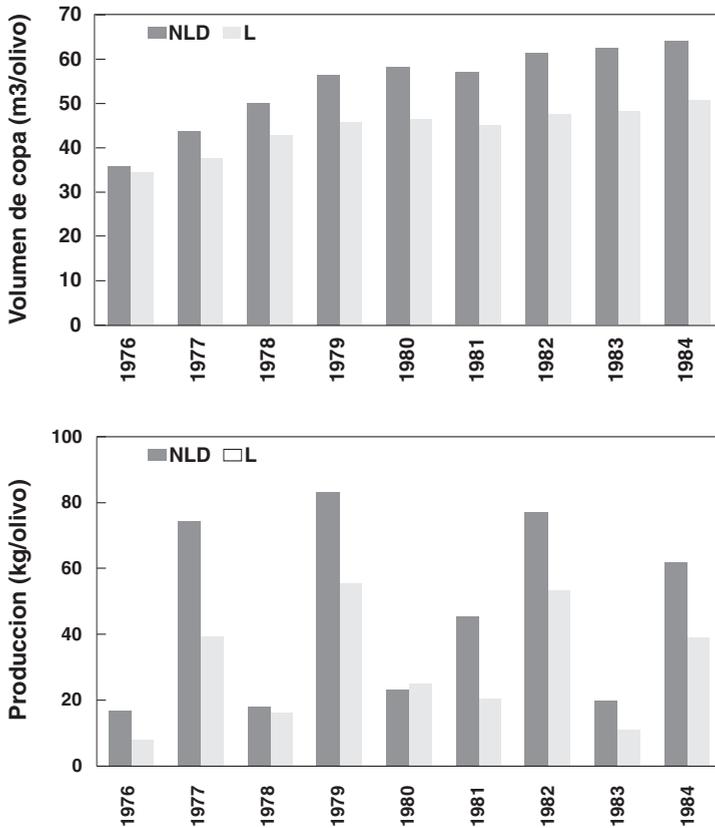


FIGURA 9: Evolución en el tiempo de la producción y del volumen de copa de los olivos en no-laboreo (NLD) y en laboreo (L). Finca Venta del Llano (Mengibar-Jaén). En el período de tiempo considerado, los resultados obtenidos evidencian unas mayores disponibilidades de agua en el sistema sin laboreo.

rencias significativas entre laboreo y NLD. Tengamos en cuenta que no todas las lluvias producen escorrentía, y que en NLD aumenta la velocidad de infiltración una vez mojada la superficie del terreno (Pastor, 1989b; Gómez Calero, 1998). Por otra parte, hemos visto como el impacto de las gotas de agua de lluvia alteran la superficie del suelo labrado, y tras su desecación se forma la costra, lo que también reduce drásticamente su velocidad de infiltración de los suelos labrados en los siguientes eventos de lluvia (Figura 7), pudiéndose producir niveles de escorrentía superficial bastante similares a los observados en no-laboreo.

Por tanto, si en un sistema con laboreo quisiéramos mantener permanentemente una alta velocidad de infiltración, habría que labrar inmediatamente después de cada episodio de lluvia, lo que desde otros puntos de vista no es lo más recomendable. Una labor anual que rompa la costra, realizada en el centro de las calles, puede hacer aumentar la infiltración hasta niveles similares a los observados en laboreo tradicional. La aportación de materia orgánica en superficie cada cierto número de años puede mejorar permanentemente la infiltración en NLD en suelos con mala estructura (Aguilar et al., 1996).

Contenido agua en suelo a final del invierno

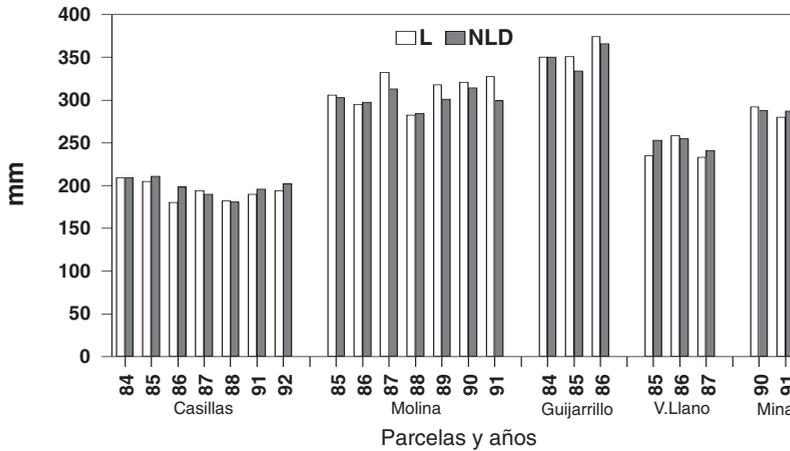


FIGURA 10: Contenido de agua en el suelo a final del invierno en Laboreo (L) y No-laboreo (NLD) en varios ensayos de manejo del suelo en olivar. Las pequeñas diferencias observadas entre L y NLD no resultaron ser significativas en ninguno de los ensayos o años estudiados

Los aperos de labranza, especialmente las vertederas y grada de discos dejan el suelo superficialmente mullido y disgregado, teóricamente en situación ideal para infiltrar el agua. Sin embargo, debajo de esta capa se encuentra la suela de labor compactada (Figura 6) que es aún menos permeable que la costra, y que es la responsable de la reducción de la infiltración en profundidad en los terrenos labrados (Pastor, 1989b).

Un modo eficaz de mejorar la infiltración puede ser el empleo de cubiertas vegetales vivas. En la Figura 2 vimos como una cubierta vegetal de gramíneas aumentó la cantidad de agua infiltrada a capas profundas después de un período de lluvias intensas, tanto con respecto al NLD como con respecto al laboreo. La cubierta, además de mejorar la estructura del suelo, aumenta la retención del agua de escorrentía, estableciendo sus raíces canales preferenciales, factores que todos ellos conjuntamente contribuyen a aumentar la infiltración.

3.3.2.- Evaporación de agua desde el suelo.

Al laboreo continuado durante la estación seca se ha atribuido tradicionalmente un importante papel en la conservación del agua infiltrada en el suelo, afirmándose que las labores en seco, al romper la capilaridad y tapar las grietas, reducen la evaporación. En esta afirmación se ha basado, durante muchos años, la agricultura de zonas áridas. Muchos de los trabajos realizados en los últimos años no parecen apoyar la anterior hipótesis (Giráldez et al., 1986; Pastor, 1991).

Cuando un suelo tiene el tempero suficiente como para recibir una labor, las pérdidas de agua debidas a la capilaridad ya se han producido. Solamente desde una capa de suelo con humedad a saturación se produce un movimiento ascendente del agua por capilaridad.

En la Figura 11 podemos ver como una labor de cultivador de 15 cm de profundidad, realizada en el mes de marzo, ocasionó

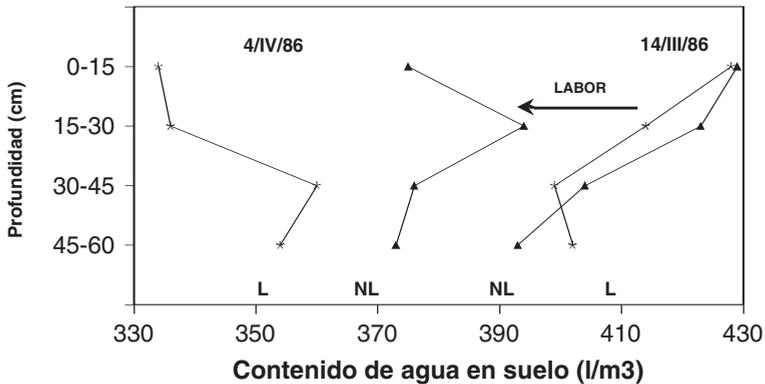


FIGURA 11: Las labores primaverales pueden ocasionar importantes pérdidas de agua en el suelo por evaporación. Aunque las pérdidas en superficie fueron mayores, la evaporación afectó también a las capas profundas del terreno. En los suelos en No-laboreo (NLD), las pérdidas de agua por evaporación fueron sensiblemente menores respecto a los suelos labrados (L), con las consiguientes ventajas para el cultivo durante la primavera. El ensayo se realizó en La Rambla (Córdoba) en un suelo de textura franco-arcillo-limoso.

mayores pérdidas de agua por evaporación que las producidas en un terreno que no había sido labrado en los últimos tres años. En dicha figura puede observarse como el laboreo no solo ha afectado a la evaporación desde la capa más superficial, sino que la evaporación ha sido también mayor en las capas más profundas del terreno. La presencia en NLD de la costra superficial parece que, en este aspecto, es muy beneficiosa, observándose una notable reducción de la velocidad de evaporación de agua con respecto al cultivo tradicional.

Es cierto que en algunos tipos de suelo existe una marcada tendencia a la formación de grietas cuando se cultivan en régimen de no laboreo, pero también es cierto que estas grietas se forman cuando el agua del suelo ya se ha evaporado. En laboreo también se forman estas grietas, y taparlas puede tener en muchos casos una dudosa eficacia, además de un coste adicional.

Una forma eficaz de reducir la velocidad de evaporación de agua desde el suelo es mantener restos vegetales secos sobre la superficie,

lo que permite que el cultivo con cubierta vegetal bien controlada disponga de unas mayores cantidades de agua durante la primavera.

3.4.- La producción del olivar.

Como ya se expuso anteriormente, en los ensayos realizados por diversos Organismos Oficiales durante los últimos veinte años en Andalucía, en los que se ensayó la técnica de NL con suelo desnudo de malas hierbas, se puso en evidencia que en un alto porcentaje de las explotaciones esta técnica puede proporcionar aumentos de producción de cierta importancia con respecto al laboreo tradicional. Sin embargo, en determinados tipos de suelo (Aguilar et al., 1995) y en algunos años, puede reducirse la producción media en NLD (Figura 1).

Los sistemas de laboreo reducido, tanto el semilaboreo como el mínimo laboreo, han proporcionado igualmente aumentos de producción con respecto al laboreo convencional (Pastor, 1991), siendo estos sistemas de cultivo muy empleados en Andalucía en la actualidad. En los suelos en que el NLD no ha pro-

porcionado óptimos resultados, las prácticas de laboreo reducido pueden ser una buena alternativa.

Nuestros ensayos han puesto igualmente en evidencia que puede pensarse en el cultivo con cubierta vegetal, incluso en secano y años de baja pluviometría. Para que los resultados sean satisfactorios hay que realizar la siega de la cubierta antes de que se establezca la competencia por el agua entre la planta de cobertura y el olivar, así como satisfacer las necesidades conjuntas de nutrientes de la cubierta y el cultivo (Castro, 1993). Hemos visto como el manejo con siega química parece más sencillo y eficaz que la siega mecánica en la mayoría de los casos, especialmente en secano.

En los años secos los sistemas sin laboreo (NLD y cubierta) o laboreo reducido (ML, semilaboreo) se muestran mucho más eficaces que los laboreos convencionales, recomendándose la supresión de las labores primaverales en los años de sequía

3.5.- La erosión.

La erosión es el problema más importante de la agricultura mediterránea. En olivares en pendiente de la provincia de Córdoba se observaron pérdidas anuales de suelo comprendidas entre 60 y 105 t/ha y año (Laguna, 1989).

El agua es el principal factor causante de la erosión en las regiones Mediterráneas, aunque el viento, en determinadas zonas y suelos, puede ser también un agente erosivo de gran importancia.

Todas aquellas prácticas de cultivo que de algún modo eviten la desagregación del suelo, aumenten la infiltración y reduzcan la velocidad del agua en su movimiento sobre el terreno, contribuirán sin duda en la conservación del suelo.

Determinadas prácticas derivadas de la actividad agrícola, como el laboreo, han influido decisivamente sobre el deterioro de nuestros suelos. Las labores, al desagregar el

suelo y destruir la cubierta natural, aceleran el proceso erosivo, mientras que los sistemas de cultivo en los que se reduce la intensidad del laboreo (NLD o el mínimo laboreo) pueden contribuir a reducir globalmente la erosión.

La mayoría de los autores que han estudiado los problemas de la erosión, están de acuerdo en que cubrir el suelo con vegetación es el método más eficaz para combatirla (Phillips y Young, 1979; Blevins, 1986). La acción de la cubierta es triple:

- reduce el número de impactos de las gotas de agua de lluvia sobre la superficie del terreno (menor desagregación);
- aumenta la estabilidad del suelo ante el impacto de las gotas del agua de lluvia (menor carga de sedimentos);
- aumenta velocidad de infiltración (reducción de la escorrentía).

por lo que el cultivo con cubierta puede tener un gran interés en la olivicultura de zonas con especial riesgo erosivo.

En la Figura 12 presentamos datos de pérdida de suelo en un ensayo de campo realizado en la provincia de Córdoba empleando un simulador de lluvia sobre parcelas en pendiente sometidas a diversos sistemas de cultivo. En dicha figura podemos observar como después de una lluvia de gran intensidad en el suelo con cubierta vegetal se ha reducido prácticamente a cero la erosión, mientras que en el terreno recientemente labrado las pérdidas de suelo fueron muy grandes. En NLD la erosión fue mucho menor que en laboreo, ya que aunque la velocidad de infiltración es menor, la resistencia del suelo a la desagregación por el impacto de las gotas de lluvia es mucho mayor que en laboreo (Castro, 1993).

Con estos datos no pretendemos demostrar que el NLD sea la mejor solución para luchar contra la erosión, ya que en parcelas de gran superficie y en pendiente, la reducción de la velocidad de infiltración da lugar, durante las tormentas, a grandes volúmenes

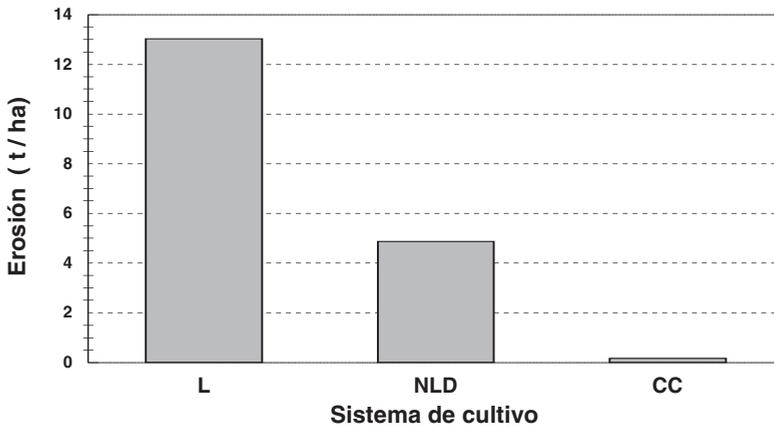


FIGURA 12: Los sistemas de cultivo tienen una gran influencia sobre la erosión, siendo en laboreo (L) el sistema en que las pérdidas de suelo fueron mayores. La presencia de la cubierta de cereal (CC) redujo la erosión de forma espectacular. En NLD se redujo también la erosión debido a la gran estabilidad de la capa superficial del suelo. Datos obtenidos en Córdoba utilizando un simulador de lluvia.

de escorrentía superficial, produciéndose con el tiempo cárcavas profundas en las zonas de desagüe de la escorrentía.

3.6.- Los costes de cultivo.

Los sistemas de manejo del suelo afectan fundamentalmente a dos operaciones de cultivo: el control de las malas hierbas y la recolección de la aceituna, en especial cuando se produce la caída natural de frutos al suelo tras su maduración.

Tanto en los sistemas de no-laboreo con herbicidas como en los de laboreo reducido y con cubierta vegetal se necesita escasa cantidad de maquinaria, reduciéndose de forma apreciable la potencia de los tractores a utilizar, así como el número total de horas de tractor empleadas por hectárea. Como es natural, todo ello redundará en una reducción sensible de los costes de cultivo, resultando generalmente más económicos los sistemas de labranza cero y los de laboreo reducido que el laboreo convencional. El cultivo con cubierta vegetal puede tener un coste similar al laboreo.

En el cultivo del olivo la compactación y limpieza del suelo en el área bajo la copa de los árboles es muy importante para reducir al mínimo los costes de recolección (Benavides y Civantos, 1982), ya que en algunas variedades y en determinados años es frecuente la caída de frutos al suelo tras su maduración. En muchos casos, si la cantidad de frutos caídos es pequeña y el suelo no está perfectamente preparado, es preferible dejar el fruto sin recolectar. La recolección de las aceitunas caídas de forma natural en un suelo desnudo, compactado y libre de malas hierbas es la que resulta más barata con gran diferencia, ya que permite el barrido de los frutos. A este tipo de suelo se llega tras la aplicación de la técnica de no-laboreo con herbicidas. Todo intento de mecanización de la recolección de aceitunas caídas al suelo, como la mejora del rendimiento de la mano de obra en la realización de esta operación, pasa por la preparación y compactación del terreno, lo que siempre es factible en un suelo labrado, pero ello lleva consigo un coste anual adicional.

REFERENCIAS

- Aguilar, F., González, P., Pastor, M., 1996. Mejoras en la fertilidad del suelo de olivar con la aplicación periódica de compost de residuos sólidos urbanos. Comparación con el sistema de no-laboreo con suelo desnudo. *OLIVAE*, 64: 40-45.
- Aguilar, J., Fernández, J., Fernández, E., de Haro, S., Marañes, A., Rodríguez, T. 1995. El olivar Jiennense. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. Colección Pérez de Maya. Universidad de Jaén. 42-50.
- Benavides, J.M., Civantos, M., 1982. Influencia de los herbicidas en los costes de recolección de aceitunas. *Agricultura*, 604: 874-876.
- Blevins, R.L., 1986. Idoneidad del suelo para el laboreo nulo. En: Phillips y Phillips, *Agricultura sin laboreo*. Ed. Bellaterra S.A. Barcelona. 44-68.
- Castro, J., 1993. Control de la erosión en cultivos leñosos con cubiertas vegetales vivas. Tesis Doctoral. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.
- Civantos, L., Torres, J., 1981. Ensayos sobre sistemas de mantenimiento del suelo en olivar. *ITEA*, 44: 38-43.
- Fischer, R.A., Turner, N.C., 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 29: 277-317.
- Freeman, M. Uriu, K. y Hartmann, H.T. 1994. Diagnosing and correcting nutrient problems. En: Ferguson, L., Sibbett, G.S. y Martin, G.C. *Olive Production Manual*. Universidad de California. Publ. 3353:77-86.
- Giráldez, J.V., González, P., Fereres, E., Agüera, J., García, M., Gil, J., Insúa, F., López, J., Martín, I., Puig, M., Sanz, J., 1986. Aprovechamiento del agua del suelo en distintos sistemas de laboreo. Cinco años de experiencia en el Valle del Guadalquivir. Actas I Simposium Sobre Mínimo Laboreo en Cultivos Herbáceos. Madrid. 11-31.
- Gomez Calero, Jose Alfonso 1998. Modelización de los procesos de interceptación de lluvia e infiltración en un olivar. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.
- Gras, R., Trocme, S., 1977. Un essai d'entretien de sol en verger du pommiers. *Annales Agronomiques*, 28 (3): 227-259.
- Humanes, M.D., Pastor, M., 1995. Comparación de los sistemas de siega química y mecánica para el manejo de cubiertas de veza (*Vicia sativa*, L.) en las interlíneas de los olivos. Congreso 1995 de la Sociedad Española de Malherbología. Huesca. 235-238.
- Laguna, A., 1989. Estudio cuantitativo de la erosión del suelo. Tesis Doctoral. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.
- López-Cuervo, S., 1990R. La erosión en los suelos agrícolas y forestales de Andalucía. Colección Congresos y Jornadas N° 17/1990. 11-16. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- Muñoz, J.A., 1998. Influencia de los Sistemas de Cultivo sobre olivar y sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Tesis Master of Science en Olivicultura y Elaiotecnia. E.T.S.I. Agronomos y de Montes. Córdoba.
- Pastor, M., 1989a. Influencia de las malas hierbas sobre la evolución del contenido de agua en el suelo en olivar de secano. 4° EWRS Mediterranean Symposium. Valencia. Tomo I.
- Pastor, M., 1991. Estudio de diversos métodos de manejo del suelo alternativos al laboreo en el cultivo del olivo. Instituto de Estudios Giennenses. Diputación Provincial de Jaén.
- Pastor, M., Castro, J. 1996. Influencia de las técnicas de cultivo sobre el microclima en plantaciones de olivar. *ITEA*, 92:283-286.

- Pastor, M., Guerrero, A., 1990. Influence of non-tillage on olive grove production. *Acta Horticulturae*, 286: 283-286.
- Pastor, M., Saavedra, M., Vega, V., 1986. Uso de herbicidas en la formación de cubiertas vegetales con crecimiento reducido en olivar. ITEA, 65: 35-44.
- Pastor, M., 1989b. Efecto del no-laboreo en olivar sobre la infiltración de agua en el suelo. *Investigación Agraria, Prod. y Prot. Vegetales*, 4 (2): 225-247.
- Phillips, S.H., Young, 1979. Agricultura sin laboreo. Labranza cero. Editorial Hemisferio Sur, S.R.L., Montevideo, 52-53.
- Saavedra, M., Pastor, M., 1994. La flora del olivar y el uso de herbicidas. *Agricultura*, 746: 748-753.
- Van Huyssteen, L., Van Zyl, J.L., 1984. Mulching in vineyard. *Viticulture and Oenologie*, E.12.
- Van Huyssteen, L., Van Zyl, J.L., Koen, A.P., 1984. L'influence des techniques d'entretien de cultures de couverture sur les conditions du sol et sur le controle des mauvais herbes dans un vignoble de Colombar a Dudkshoorn. *Bulletin de l'O.I.V.*, 645: 849-870.
- Zaragoza, C., Aibar, J., Sopeña, J.M., 1990. Un ensayo de reducción del laboreo en viña. Resultados de la producción en siete años. *Actas de la Reunión 1990 de la Sociedad Española de Malherbología*. 79-85.

**ACTA DE LA ASAMBLEA GENERAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE LA CIENCIA DEL SUELO**

Acta de la Asamblea General de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, celebrada el día 10 de marzo de 2000, en los locales del Centro de Ciencias Medioambientales de Madrid, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con arreglo al siguiente orden del día:

1. Lectura y aprobación, en su caso, del Acta de la Asamblea General precedente, celebrada en Barcelona el día 7 de julio de 1999.
2. Informe del Presidente de la Sociedad.
3. Informe de la Tesorera de la Sociedad.
4. Premio José María Albareda de Tesis Doctorales.
5. Resultado de las elecciones celebradas el día de la fecha y proclamación de los candidatos electos a cubrir las vacantes de la Junta Directiva.
6. Ruegos y preguntas.

En el primer punto del orden del día, el Sr. Secretario General da lectura al Acta de la Asamblea precedente, la cual es aprobada por unanimidad de los miembros presentes.

El Sr. Presidente de la Sociedad, en el segundo punto del orden del día, comienza exponiendo la sugerencia de que las actas de las asambleas que celebre la Sociedad aparezcan publicadas en la revista EDAFOLOGÍA una vez que hayan sido aprobadas, sugerencia que es aceptada de forma unánime por los asociados presentes.

A continuación, presenta un informe sobre el V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, que con el lema de "Suelo: Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible", se celebrará en la ciudad de Baeza (Jaén) entre los días 25 y 29 de septiembre de 2000, comentando el tríptico informativo que se ha realizado, no estando previsto enviar ningún tipo adicional de información. Los asistentes deberán encargarse personalmente de la reserva de alojamiento, celebrándose la ceremonia de inauguración en la ciudad de Jaén, desde la que habrá a disposición de los congresistas un servicio de autobuses para su desplazamiento a Baeza.

Continúa informando sobre la posibilidad de presentar trabajos de investigación sobre cualquier temática del ámbito de los suelos, no siendo obligatorio que versen sobre aspectos referidos al olivar, añadiendo que en la cuota de inscripción van incluidas las comidas de los días del Congreso.

El Dr. D. Antonio Rodríguez Rodríguez solicita información sobre si la fecha límite del 30 de abril se refiere al envío de los resúmenes o de los trabajos completos, contestándole el Sr. Presidente que se refiere a éstos últimos.

A continuación el Sr. Presidente continúa informando sobre la celebración de próximas reuniones de la Sociedad, correspondiendo a Galicia en el año 2001, organizada por la Dra. Dña. Rosa M. Calvo de Anta y a Córdoba en el año 2002, cuya organización correrá a cargo

de los Drs. D. José Torrent Castellet y D. Luis Corral Mora. Durante la Asamblea a celebrar en Baeza se propondrán nuevas sedes para próximas reuniones y congresos.

En cuanto se refiere a congresos internacionales, el Sr. Presidente informa sobre la celebración del 17 Congreso internacional de la Ciencia del Suelo, que tendrá lugar en Bangkok (Tailandia) del 14 al 20 de agosto del año 2002, animando a asistir al mismo a la mayor cantidad posible de miembros de nuestra sociedad.

Con respecto a la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo (antigua Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) se informa sobre la modificación de estatutos que ha tenido lugar, especialmente en lo que se refiere a las distintas secciones. De forma similar, la Sociedad Inglesa de la Ciencia del Suelo también ha cambiado su estructura científica, considerando cuatro grupos principales: Suelos en el espacio y en el tiempo, Propiedades de suelos y procesos, Manejo y uso del suelo y Aspectos ambientales, considerando nuestro Presidente como muy actualizado este nuevo sistema, a la vez que se formula la pregunta sobre si también deberíamos cambiar nosotros nuestro actual sistema de secciones.

El Dr. D. Roque Ortíz Silla sugiere que en el caso de cambiar nuestra estructura sería más adecuado adoptar la de la Unión internacional. Se decide por parte de la Asamblea que sea la Junta Directiva de la Sociedad quien prepare un borrador que posteriormente de enviaría a los asociados para que incluyeran todas las sugerencias que les parecieran pertinentes con las que se elaboraría el borrador definitivo, el cual se sometería a su posible aprobación en una Asamblea General.

Asimismo, el Sr. Presidente informa que durante la celebración del Congreso de Baeza se realizará una mesa redonda sobre "Normativa para la realización de cartografías temáticas" cuyo moderador será el Dr. D. Juan Sánchez Díaz, proponiendo que los nuevos presidentes de las secciones, elegidos en el día de la fecha, propongan nuevos temas de discusión para posteriores reuniones.

En este punto toma la palabra el Dr. D. Juan Sánchez Díaz para informar sobre una reunión que acaba de tener lugar en el Ministerio sobre la determinación de niveles de referencia para suelos contaminados, en la que se ha propuesto que en cada Comunidad Autónoma se hagan especificaciones más concretas sobre los niveles de fondo en cada una de ellas, estando prevista la puesta en marcha de un Plan de Actuación en el área de los Recursos Naturales para el período 2000-2003.

El Dr. D. Roque Ortíz Silla se pregunta si tiene sentido el hecho de establecer distintos niveles de fondo para diferentes Comunidades Autónomas, a lo que el Dr. D. Felipe Macías Vázquez le contesta informando que ya ha salido una ley en la Comunidad Gallega sobre el lindano.

En el tercer punto del orden del día toma la palabra la Tesorera de la Sociedad, Dra. Dña. Carmen Fernández Bermejo, que presenta el resumen económico de 1999, el cual arroja un saldo total de 5.773.763 pts. y un presupuesto de ingresos y gastos para el año 2000, con unas disponibilidades previsibles de 6.703.283 pts. y unos gastos previsibles de 3.068.000 pts., lo

que originaria un saldo a favor de 3.635.283 pts. La Tesorera llama la atención de la Asamblea sobre la casi segura disminución de ingresos para el próximo ejercicio a consecuencia del menor número de socios con que contamos en la actualidad, debido a las bajas forzadas que han tenido lugar con motivo del impago repetido de las cuotas anuales de asociado y otras bajas por jubilación.

El Dr. D. Felipe Macías Vazquez, Director de la revista Edafología, interviene en este punto para exponer su idea de publicar tres números de la revista al año, lo que supondría un incremento de los costos de edición, a la vez que la inclusión de publicidad en la misma ayudaría a mantener la publicación. Asimismo, propone la apertura de sus páginas a colegas de América del Sur y la inclusión de trabajos de revisión general encargados a especialistas de diferentes temáticas.

Sobre la posibilidad de la publicación de una Revista Latinoamericana de Ciencia del Suelo, se informa del ofrecimiento realizado por la revista Terra, publicada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, pudiendo también nuestra revista Edafología acoger dicha publicación.

El informe de Tesorería es aprobado de forma unánime por los asociados presentes en la Asamblea.

En el cuarto punto del orden del día el Sr. Secretario General da lectura al acta emitida por el Tribunal nombrado al efecto para dictaminar el Premio José María Albareda de Tesis Doctorales, cuya decisión ha sido la de declarar desierto dicho premio en su convocatoria correspondiente al año 1999.

En el quinto punto del orden del día, el Sr. Secretario General procede a dar lectura al acta con los resultados de la votación, efectuada en el día de la fecha, para la elección de los cargos vacantes de la Junta Directiva de la Sociedad. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Votos emitidos - 118

Votos nulos - 1

Votos en blanco - 1

Vicepresidente: Dr. D. José Manuel Gandullo Gutiérrez - 98 votos

Secretario General: Dr. D. Luis Alcalá del Olmo Bobadilla - 99 votos

Presidentes de Secciones:

Sección II (Química del Suelo): Dr. D. Jaime Iñiguez Herrero - 17 votos

Sección IV (Fertilidad del Suelo): Dr. D. Pedro González Fernández - 24 votos

Dr. D. José Soler Soler - 3 votos

Sección VI (Tecnología de Suelos): Dr. D. Rafael Espejo Serrano - 60 votos

Sección VIII (Ecología): Dr. D. Avelino García Fernández - 14 votos

Secretarios de la Secciones:

Sección I (Física del Suelo): Dr. D. Fernando Garrido Colmenero - 15 votos

Sección III (Biología del Suelo): Dra. Dña. M. Cristina Zancada Fernández - 4 votos
Sección V (Génesis, Clasiflc. y Cartogr.): Dra. Dña. Carmen Antolin Tomás - 45 votos
Dr. D. Angel Goyanes Rubio - 9 votos
Sección VII (Mineralogía de Suelos): Dr. D. Joaquín Hernández Bastida - 12 votos

Los candidatos que han obtenido un mayor número de votos en cada una de las secciones quedan nombrados para el desempeño de sus cargos, acordando por unanimidad la Asamblea felicitar a los miembros electos así como agradecer a los salientes los servicios prestados en aras de un mayor desarrollo de la ciencia del suelo en España.

Seguidamente se pasa al sexto punto del orden del día, tomando la palabra el Dr. D. Juan José Ibañez Martí para referirse al tema de la Cartografía digital de Europa, comentando el boicot británico a la publicación de la base de datos junto a los considerables problemas que han surgido. Informa que el mapa modificado de la FAO 85 ya se ha editado y está listo para distribuirse, debiendo dirigirse los interesados en el mismo al Dr. D. Jaume Boixadera Llobet, en Lérida.

Continúa informando el Dr. Ibañez sobre la publicación en castellano del manual de la base de datos georreferenciados. Se trata de un sistema abierto que se pretende que sirva como base de cooperación para proyectos internacionales, habiéndose realizado hasta el momento diversas zonas piloto por diferentes países.

A una intervención del Dr. D. Carlos Dorronsoro Fernández sobre la página web de la Sociedad, a quien unánimemente se le agradece la valiosa contribución que supone para nuestros fines como autor de la misma, le sucede un animado debate entre los asambleístas sobre las distintas metodologías de trabajo empleadas en las diferentes Comunidades Autónomas, esperándose que pronto ocurra el deseado acercamiento entre todas ellas. El Dr. D. Juan Sánchez Díaz expone que el País Vasco y Cataluña ya tienen establecidos sus niveles de referencia con criterios totalmente diferentes, siendo de desear que éstos se lleguen a establecer de la manera más amplia posible. Diferentes miembros de la Asamblea toman la palabra para exponer distintos ejemplos de lo que ocurre en diferentes países, llevándose a cabo las determinaciones en laboratorios homologados.

Sin más asuntos que tratar, se da por finalizada la Asamblea a las 18 horas del día de la fecha, de lo que como Secretario General doy fe.

A handwritten signature in black ink, reading "Luis Alcalá del Olmo Bobadilla". The signature is written in a cursive style and is underlined with a single horizontal line.

Fdo.: Luis Alcalá del Olmo Bobadilla
Secretario General de la SECS

XV CONGRESO LATINOAMERICANO Y V CUBANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Estimados colegas:

La Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo convoca a su XV Congreso, actuando en esta ocasión la Sociedad Cubana como organizadora de este evento, en el que se enmarcará además el 5to Congreso Nacional. Los mismos se realizarán del 11 al 16 de Noviembre de 2001 en el Centro de Convenciones “‘Plaza América’, Varadero, Provincia de Matanzas. Esta Playa es mundialmente famosa por sus finas arenas bañadas por cálidas aguas, junto a las bondades de un clima tropical que convierte este Paraíso Caribeño en un eterno verano.

El Centro de Convenciones está rodeado de una amplia Red de Instalaciones Hoteleras con tarifas muy favorables para los Grupos Turísticos que participan en Eventos Científicos; destaca por la hospitalidad, el confort, la seguridad, el profesionalismo y la exclusividad para sus visitantes.

En esta provincia se encuentran destacados Centros de Investigación y Enseñanza Agrícola, dedicados al estudio de la caña de azúcar, pastos, cítricos y otros cultivos vinculados a grandes plantaciones de estos.

Estas convenciones han ido ganando audiencia y prestigio, y se han convertido en el foro de intercambio científico-técnico más importante de esta especialidad en América Latina. En el marco del evento se entregará el Premio “Andrés Aguilar Santelices” al mejor trabajo en Ciencia del Suelo seleccionado en correspondencia a la convocatoria emitida

La primera edición del Congreso en el nuevo milenio tendrá lugar en Cuba, 11 años después de haber sido anfitriona agradecida, nuevamente les daremos la Bienvenida e Invitamos a participar activamente en las actividades del XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.

Esperando encontrarnos en Cuba en Noviembre del 2001.

Les saluda cordialmente,

Dr. Rafael Villegas Delgado
Presidente XV CL CS



**XV CLCS. 11 al 16 de Noviembre del 2001
Varadero, Cuba**



SCCS

CUPÓN DE INSCRIPCIÓN

NOMBRE: _____

INSTITUCIÓN: _____

DIRECCIÓN: _____

E-MAIL: _____

FAX: _____ **TELÉFONO:** _____

POR FAVOR, MARQUE LA OPCIÓN ELEGIDA:

Estoy interesado en asistir al Congreso sin presentar cartel o comunicación

Asistiré al Congreso y presentaré:
Cartel _____ Comunicación _____

TÍTULO DEL TRABAJO: _____

AUTORES: _____

Comisión para la que lo propone: _____

ACOMPAÑANTES: SÍ NO

GIRAS POST-CONGRESOS: SÍ NO

Agradecemos: Envíe este cupón con la mayor brevedad al Comité Organizador. Los participantes que requieran cartas de invitación personal para obtener permisos oficiales pueden solicitarlas junto con el envío de este cupón.

ENVÍE ESTA HOJA A: Dr. Rafael Villegas Delgado. Ave Van Troi No.17203, Boyeros. CP 19210, Ciudad Habana. Cuba.

Fax 53-7-666036. E-mail: xvcongreso@inica.edu.cu.

Instrucciones a los autores para la presentación de manuscritos

La Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo publica trabajos originales, revisión de artículos y notas cortas relacionadas con cualquiera de las diferentes Secciones de la Ciencia del Suelo.

Los manuscritos deberán estar escritos en español o en inglés.

De cada manuscritos (texto y figuras) se enviarán **Original y Dos Copias** a la Dirección del Editor Principal. Las dos copias serán revisadas por especialistas elegidos por el Comité Editorial, y sólo se publicarán los manuscritos que hayan sido informados favorablemente. Tras la aceptación definitiva se solicitará a los autores una copia en disquete 3^{1/4}

Cada manuscrito deberá estar preparado según las siguientes normas. Si no se cumplen le será devuelto a los autores.

I. Trabajos originales y revisión de artículos

1. Estructura y objeto del trabajo
2. Título
3. Título abreviado
4. Nombre(s) de autor(es) y nombre(s) y dirección(es) de las(s) institución(s)
5. Resumen-Abstract
6. Palabras Clave-Key Words
7. Texto
8. Referencias
9. Tablas
10. Figuras
11. Leyenda de tablas y leyenda de figuras

1. Estructura y objeto del trabajo

El plan indica el orden de los diferentes apartados del manuscrito. No será publicado

2. Título

Deberá ser conciso, preciso y con palabras que reflejen el contenido del trabajo

3. Título abreviado

No contendrá más de 60 caracteres, con objeto de poderlo imprimir en la parte superior de cada página impar de la revista

4. Nombre(s) de autor(es)

Deberá incluirse las iniciales del nombre y los apellidos de cada autor, así como la dirección(es) completa(s) del Centro de trabajo de cada uno. Cualquier correspondencia se dirigirá al primer autor si no existen indicaciones en contra.

5. Resumen-Abstract

Ambos deberán presentar los resultados principales del trabajo, con datos cuantitativos. Extensión máxima de 150 palabras.

6. Palabras Clave-Key Words

A continuación del Resumen y del Abstract se añadirán ocho palabras como máximo, que caractericen el contenido del trabajo.

7. Texto

Deberá ser claro y conciso. Como norma general, los trabajos no deben exceder 10 páginas mecanografiadas a doble espacio en tamaño DIN A4 con letra Courier 10, incluyendo, resúmenes, referencias, tablas y figuras.

Las referencias en el texto deberán aparecer como sigue: (Roquero, 1984; Guerra y Benayas, 1984).

o:

según Roquero (1984); y Guerra y Benayas (1984)

o, si son más de dos autores:

(Velasco *et al.*, 1988)

Si en la lista de referencias hay varias para un mismo autor con el mismo año de publicación, deberán distinguirse entre sí añadiéndole un letra, tal como se indica:

(Fernández 1987a; Brindley y Robison, 1947a y b)

Las figuras (independientemente de que sean gráficos o fotos) y las tablas se numerarán separadamente, usando números arábigos, así: (Fig. 3) (Tabla 2)

8. Referencias

Las referencias deberán presentarse en un listado final ordenado alfabéticamente, tal como sigue:

Referencias:

Bliss, N.W. y MacLean, S.H. (1975): The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39, 973-990.

Frenzel, G., Ottermann, J., Kurtze, W. (1973): Über Cu-haltigen Bleinglanz und Pb-haltigen Covellin von Boarezzo (Varese) und Sulfidparagenese. *Schweizer Mineral. Petrog. Mitt.* 53, 217-229.

Guinier, A. (1956): *Théorie et technique de la radiocristallographie*. Dunod de., Paris, 736 p.

Mc Laren, A.C. (1974): Transmission electron microscopy of the feldspars in <<the Feldspars>>, W.S. MacKenzie and J. Zussman, de. Manchester University Press, 379-423.

Spry, P.G. (1978): The geochemistry of garrnet-rich lithologies associated with the Broken Hill Orebody, N.S.W., Australia, M.S. thesis, Univ. Adelaide, Adelaide, Australia.

____; Scott, S.D. (1986a): The stability of zincian spinels insulfide systems and their potential as exploration guides for metamorphosed massive sulfide deposits. *Econ. geol.* 81, 1446-1463.

9. Tablas

Todas las tablas se reproducirán reduciendo un 50% y por tanto deberán estar escritas con especial cuidado y nitidez.

Se sugiere un espaciado de uno y medio y un número limitado de líneas horizontales o verticales.

La anchura de las tablas será de 13,5 cm (para reducir a una columna) o de 28 cm (para reducir a dos columnas).

10. Figuras

El tamaño máximo de los originales será de 21x29,7 cm. En ellos deberá figurar, escrito a lápiz en la parte posterior, el nombre del autor y el número de orden.

Dibujos y gráficos han de ser originales, preferiblemente delineados sobre papel blanco o vegetal, con grosor de líneas y tamaño de letras adecuados para ser legibles una vez reducidos; así, en una figura de 13,5 cm de ancho (para reducir a una columna) las letras deberán ser de 5 mm.

Fotografías: 4 como máximo, preferiblemente como diapositiva. Deberán tener un buen contraste y la escala irá incluida en cada una de ellas. Si las fotos están agrupadas en una lámina, se enviará también un duplicado de las fotos separadas.

11. Leyendas

Todas las figuras y tablas llevarán una leyenda suficientemente explicativa. Dichas leyendas se escribirán en una hoja aparte.

II. Notas cortas

La revista de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo podrá publicar también los resultados más importantes de un trabajo en forma condensada; la totalidad de los resultados podrán ser presentados posteriormente en un trabajo más extenso.

Los artículos para su publicación pueden ser enviados al editor principal: Felipe Macías, a la siguiente dirección: Dpto. de Edafología. e Química Agrícola, Facultad de Biología, Campus Sur, 17706-Santiago de Compostela.

Los manuscritos originales y las ilustraciones se destruirán dos meses después de su publicación.

Advertencia: Los autores serán responsables de las faltas ortográficas y gramaticales de sus artículos.

