

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FACTORIAL AL ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS CALIZOS EN LA ZONA MUELA DE CODOÑAS (MURCIA)

M^a Luz TUDELA SERRANO; Luís J. ALIAS PÉREZ y Josefa MARTINEZ SÁNCHEZ

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Campus de Espinardo. Universidad de Murcia. 30100. Espinardo (Murcia)

Abstract: A relationship between the properties of calcareous soils (Leptosols, Kastanosems, Calcisols, Fluvisols, Regosols) and their different topographical positions is established. The statistical treatment of experimental data by means of factorial analysis techniques allows to develop factors or indexes for the estimation of the soil degradation. The fertility factor (factor 1) increases when the soil degradation decreases. The decrease in the organic matter content, due to the ploughing and the subsequent decrease in vegetal residue content, produces the degradation of the soil structure, a loss of productivity and, consequently, a progressive desertification.

Key words: Degradation, Leptosol, Kastanosem, Calcisol, Fluvisol, Regosol, multivariate analysis.

Resumen: Se establece una correspondencia entre propiedades de suelos calizos (*Leptosoles*, *Kastanosems*, *Calcisoles*, *Regosoles* y *Fluvisoles* (FAO, 1988)) y las diferentes posiciones topográficas en que se encuentran. Mediante la aplicación estadística de un análisis factorial a los resultados obtenidos se trata de establecer un índice de degradación. El factor 1, factor fertilidad, será tanto mayor cuanto menos degradado se encuentre el suelo. La disminución del contenido en materia orgánica, debido a la roturación que conlleva la puesta en cultivo y la consiguiente disminución de aportes vegetales, da como resultado la degradación de la estructura del suelo, pérdida de productividad y consiguiente desertificación progresiva.

Palabras clave: Degradación, Leptosol, Kastanosem, Calcisol, Fluvisol, Regosol, análisis multivariante.

INTRODUCCIÓN

Atendiendo a su formación, el suelo se considera un recurso no renovable que cuando rompe su equilibrio, principalmente por la acción del hombre, modifica su evolución natural, desarrollándose una serie de procesos que bien por acción directa (regresión), o por acción indirecta (degradación) (Duchaufour, 1970) tienden a la disminución de su calidad.

Al estudiar la capacidad y características de un suelo se observa que en la morfología de los perfiles se reflejan una serie de procesos que forman parte y determinan la geomorfología actual de una zona. Aparece una relación causa-efecto en la que la evolución geomorfológica suministra el marco a la evolución de los suelos y sitúa los fenómenos de edafogénesis en superposición de dos evoluciones: la de unidad geomorfológica y la del suelo formado sobre

ella (Bernard y Icole, 1984). En esta línea de actuación se ha realizado un Proyecto de Investigación en siete zonas degradadas de la Región de Murcia (Tudela, 1993), del que forma parte el presente trabajo. El objetivo principal consiste en determinar, previa relación entre unidades geomorfológicas y unidades de suelo, el estado actual de degradación de los suelos en las zonas que nos ocupa utilizando como técnica confirmatoria el análisis factorial.

PRESENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio ocupa una superficie de 10 km² y responde a las coordenadas U.T.M:

30SXH210169/30SXH245169-30SXH210139/30SXH245139.

En la parte central se localiza el relieve que le da nombre "Muela de Codoñas" (725 m) rodeado de una superficie de glacis encostrado con origen en la Sierra de Silla (798 m) que con dirección suroeste-noreste se sitúa al oeste de la Muela de Codoñas, fuera de la zona de estudio. Esta zona no presenta una red de drenaje definida. Las ramblas y barrancos que descienden de la Muela se pierden al llegar al llano y sus antiguos cauces han sido cultivados.

Para la caracterización del clima se ha trabajado con los datos climáticos de la estación meteorológica de Cehegín y tras la obtención de diversos índices y parámetros resulta un "clima mediterráneo semiárido de invierno templado" (Emberger, 1955). La temperatura media anual es de 16 °C y la precipitación media anual de 368 mm, con una evapotranspiración potencial de 824 mm y un déficit anual de agua de 313 mm. A partir del balance hídrico realizado se estima para los suelos un régimen de humedad (Soil Survey Staff, 1975) arídico; el régimen de temperatura (Soil Survey Staff, 1975) es térmico.

La vegetación climática (*Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae*) ha sufrido numerosas agresiones de origen antrópico: repoblaciones con pino carrasco (*Pinus*

halepensis), roturaciones para la puesta en cultivo, apertura de caminos y canteras, etc. Aparecen algunos restos de coscojar dispersos entre el pinar, siempre muy aclarado, lo que facilita la instalación de matorrales y pastizales heliófilos. Las zonas de cultivo han sido tradicionalmente de secano (vid, olivo, almendro y cereal).

METODOLOGÍA

Se ha elaborado una cartografía geomorfológica y edafológica a escala 1:50.000 mediante fotointerpretación y trabajo de campo, con el apoyo del Mapa Geológico a escala 1:50.000 (ENADIMSA, 1974). Para la clasificación de los suelos se ha seguido el sistema de FAO (1988) y la metodología analítica y cartográfica es la utilizada en el Proyecto LUCDEME para el levantamiento del Mapa de Suelos (Alfas *et al.*, 1992). Como técnica confirmatoria se utiliza el análisis factorial con 27 variables manifiestas (tabla 1), en las 240 muestras de que consta el Proyecto de Investigación, usando el paquete estadístico BMDP (1986). A la zona de estudio pertenecen 23 muestras de horizonte A de perfiles representativos.

Para la clase de productividad se ha seguido el método de Riquier *et al.* (1970). Las variables: nitrógeno, materia orgánica, fósforo, y arcilla han sido normalizadas por el propio programa estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Geomorfología

La Muela de Codoñas es una formación cretácica caliza que destaca topográficamente sobre el Mioceno margoarenoso que la rodea, dada la mayor dureza de sus materiales. Responde a una cresta generada a partir de un flanco anticlinal cuyas estructuras anticlinales están rotas por una red de fallas que siguen dos direcciones predominantes, noroeste-sureste y suroeste-noreste. Al oeste, fuera de la zona de

Tabla 1. Variables manifiestas tomadas en consideración

Variable	Clave	Variable	Clave	Variable	Clave
Carbonato cálcico equiv.	CA	Zinc	ZN	Tipo de uso	TU
pH en agua	PHO	Manganeso	MN	Zona	LOC
pH en KCl	PHK	Limo fino	LF	Altitud	T
Conductividad eléctrica	CE	Limo grueso	LG	Productividad	PRO
Potasio	K	Arena muy fina	AMF	Capacidad de cambio	H
Sodio	NA	Arena fina	AF	Nitrógeno	N
Magnesio	MG	Arena media	A	Materia orgánica	ORG
Hierro	FE	Arena gruesa	AG	Fósforo	P
Cobre	CU	Arena muy gruesa	AMG	Arcilla	ARC

estudio se localiza la Sierra de Silla (793 m) de la que desciende un amplio cono aluvial que cubre parte del área de estudio.

Se han reconocido dos tipologías de glacis (fig. 1A):

a) *Glacis de acumulación*: Aparece este nivel de glacis cubriendo la depresión existente entre la Sierra de Silla y la Muela de Codoñas. El rasgo más destacado es la presencia de una costra caliza relacionada, hacia el norte, con soluciones carbonatadas muy concentradas de influencia termal, por lo que su potencia y dureza está justificada. En este glacis la pendiente inicial del 10% disminuye progresivamente ladera abajo, hacia el centro de las depresiones circundantes.

b) *Glacis de erosión*: Se extiende al sur y sureste de la Muela de Codoñas, sobre materiales neógenos deleznable, margas principalmente, con una pendiente inferior al 5%. Se encuentra fuertemente afectado por las labores de cultivo.

2. Relación geomorfología-suelos

Según la metodología descrita se ha realizado el estudio edafológico de la zona y la cartografía de suelos (FAO, 1988) (fig. 1B). La relación de cada unidad de suelos con la unidad geomorfológica correspondiente se representa en la tabla 2.

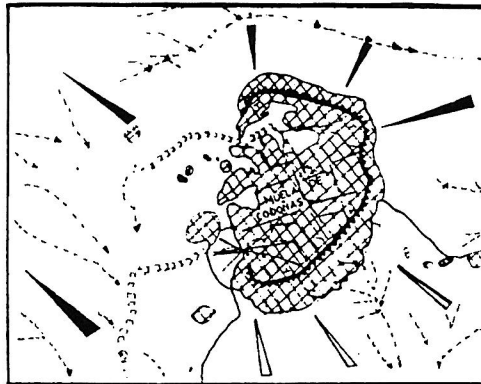
En pendientes superiores al 45% aparecen Leptosoles (LP), suelos poco evolucionados con horizonte A móllico (Leptosol réndico, LPk). Cuando la profundidad es inferior a 10 cm, aparecen Leptosoles líticos (LPq). Se ha observado en estos suelos un lavado de CaCO_3 bastante eficaz, llegando a la eliminación parcial dentro del perfil, por lo que no se desarrolla un horizonte cálcico. La topografía parece ser un factor que actúe favoreciendo el lavado, tanto mayor cuanto mayor sea la pendiente.

En zonas de menor pendiente, conos aluviales y sectores del glacis, los suelos se hacen más profundos, se suceden las migraciones y la acumulación del carbonato cálcico va

siendo, en ocasiones un hecho. La redistribución y cementación de carbonatos es el principal proceso edafogénico originándose horizontes petrocálcicos, que unido a la presencia de una importante cubierta vegetal favorece la formación de epipedón móllico, apareciendo los Kastanosems pétricos.

En la depresión, la acumulación y cementación de carbonato cálcico condiciona la aparición de horizontes cálcicos y petrocálcicos. Así, cuando el epipedón es ócrico los suelos son Calcisoles háplicos (CLh), cuando aparece horizonte cálcico, y Calcisol pétrico (CLp) si el horizonte es petrocálcico. Bajo

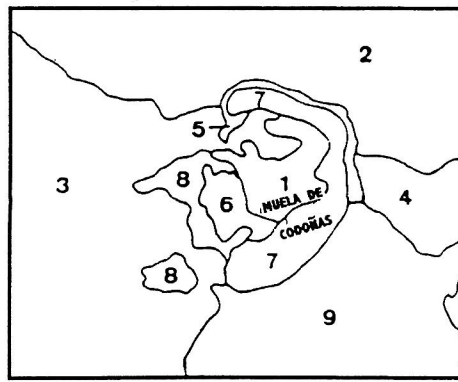
(A)



LEYENDA

	Relieve estructural		Escarpe rocoso
	Falla		Buzamiento
	Cono aluvial		Glacis de acumulación
	Glacis erosión		Rambla y/o Barranco
	Cauce fondo plano		Paleocanal

(B)



LEYENDA

SUELOS DOMINANTES	INCLUSIONES
1 Calcisol háplico Kastanosem cálcico	Calcisol pétrico
2 Calcisol pétrico	
3 Calcisol pétrico	Calcisol háplico Regosol calcárico
4 Calcisol pétrico	Fluvisol calcárico Regosol calcárico
5 Kastanosem pétrico	Calcisol pétrico
6 Leptosol lítico	Calcisol háplico
7 Leptosol lítico Leptosol réndrico	Leptosol eútrico
8 Regosol calcárico	
9 Regosol calcárico	Calcisol háplico Fluvisol calcárico

Figura 1. Cartografía de la zona. (A) Mapa geomorfológico, (B) Mapa de suelos.

Tabla 2. Relación geomorfología-suelos.

ALTITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERÍODO GEOLOGICO	LITOLOGÍA	DOMINIO	FORMA GEOMORFOLÓGICA	SUELOS MAYORITARIOS	UNIDADES CARTOGRAFICAS
580-725	> 45	Neógeno	Caliza	Sierra		Leptosoles	LPq-LPk (Lpe)
	15-25					Calcisoles	CLh-KSc (CLp)
	10-15					Kastanosam	KSp (CLp)
530-580	5-10	Neógeno	Conglomerados, margas y areniscas	Depresión	Glacis de acumulación	Regosoles	CLp (CLh-RGc) RGc
	< 5					Travertinos	Fluvisoles
							Cono aluvial

LPq: Leptosol lítico; LPk: Leptosol úmbrico; Lpe: Leptosol eútrico; CLh: Calsisol háptico; CLp: Calsisol pétrico; KSp: Kastanosol pétrico; RGc: Regosol calcárico; FLc: Fluvisol calcárico.

epipedión mólico, los suelos se presentan encostrados siendo Kastanosemipétricos (KSp). Siguiendo el curso de las ramblas se localizan Fluvisoles calcáricos asociados con Calcisoles háplicos o como inclusión de Regosoles calcáricos.

3. Estudio factorial

En la tabla 3 se ofrece la descripción general de las 27 variables tomadas en consideración en las 240 muestras del Proyecto mencionado anteriormente, realizándose el estudio de la matriz de correlación y siendo los componentes o factores ortogonales entre sí. Seguidamente, se determinan los factores cuyos autovalores representan la cantidad de varianza explicada

por el correspondiente componente principal (Alías *et al.*, 1993). Al no existir pruebas estadísticas inferenciales que prueben la significación de los autovalores y determinen cuales son los componentes más importantes de un estudio factorial se ha seguido el criterio de Kaiser (1960), según el cual se seleccionan aquellos componentes cuyos autovalores son superiores o iguales a 1.000. Por ello, se seleccionan los nueve primeros factores que explican el 100% de la varianza total de la matriz. Obtenidos los factores principales se estudia el conjunto de cargas factoriales resultantes para cada una de las variables, para lo cual se realiza sobre la matriz de factores una transformación ortogonal, según el modelo de rotación Varimax. En la

Tabla 3. Estadística descriptiva general.

Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor mínimo	Valor máximo
CA (%)	46.47	16.08	0.35	1.00	77.60
PHO	8.07	0.25	0.03	6.70	8.50
PHK	7.37	0.15	0.02	7.10	7.70
CE (dS/m 25°C)	0.72	0.63	0.87	0.20	6.10
K	17.54	11.43	0.65	0.30	53.10
NA	13.42	9.62	0.72	2.80	47.00
MG	1.04	3.92	3.76	0.00	27.40
FE	2.99	3.93	1.31	0.10	25.60
CU	1.71	3.10	1.81	0.30	30.00
MN	4.23	4.75	1.12	0.00	32.70
ZN	0.96	1.13	1.18	0.00	10.00
LF (%)	29.04	8.19	0.28	10.70	61.10
LG (%)	15.54	5.65	0.36	0.80	30.10
AMF (%)	11.27	4.06	0.36	2.30	22.50
AF (%)	10.20	5.67	0.56	1.90	29.10
A (%)	5.93	3.24	0.55	0.40	16.90
AG (%)	3.77	2.33	0.62	0.10	11.30
AMG (%)	2.76	2.12	0.77	0.20	9.70
TU	1.42	0.50	0.35	1.00	2.00
LOC	3.85	2.11	0.55	1.00	7.00
H	6.56	1.92	0.29	3.00	13.00
T	18.12	7.50	0.41	3.80	43.80
PRO	4.18	0.99	0.24	2.00	5.00
N	5.12	0.58	0.11	3.84	6.37
ORG	1.36	0.49	0.36	0.28	2.70
P	2.21	0.88	0.40	0.00	3.76
ARC	3.06	0.32	0.10	3.34	3.95

tabla 4 aparece la matriz de componentes rotada, junto con la cantidad de varianza explicada por cada componente. Las cargas menores de 0.25 han sido reemplazadas por ceros.

El factor 1 tiene cargas muy elevadas y positivas en materia orgánica, nitrógeno y capacidad de cambio, y negativas en calcio y tipo de uso. En menor influencia aparecen el fósforo y el potasio. Teniendo en cuenta que los macronutrientes más importantes del suelo y la capacidad de cambio iónico resultan fundamentales a la hora de hablar de la capacidad productiva de un suelo y que en este factor están todos ellos representados positivamente se le ha denominado factor fertilidad. El factor 2, que ha obtenido cargas muy elevadas en arena, arena medio gruesa y arena gruesa, se le ha denominado factor textura gruesa. Es interesante

resaltar que en la zona de estudio este factor se puede relacionar con fenómenos de erosión, ya que los suelos que aparecen con puntuaciones positivas en él, como son Leptosoles, y gran parte de Calcisoles pétricos, han sufrido una pérdida de elementos finos por arrastre superficial, bien por estar en zonas de fuerte pendiente, o desprotegidos por falta de cubierta vegetal. El factor 3, con cargas muy elevadas en arena fina, arena medio fina y arcilla, representa el factor textura fina. El factor 4, representa a los elementos asimilables hierro, cobre, manganeso y zinc y se le ha denominado factor oligoelementos. El factor 5 es el factor geográfico al presentar sus valores máximos en altitud y localización. El resto de factores no han sido considerados al explicar un porcentaje de varianza muy bajo.

Tabla 4. Matriz de componentes principales.

Var.	FACTORES								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA	-0.729	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PHO	-0.259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.779	0.000	0.000	0.000
PHK	-0.320	0.503	0.000	0.000	0.000	0.412	0.000	0.301	0.000
CE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.777	0.000
K	0.337	0.000	0.441	-0.323	-0.269	0.000	0.000	0.373	0.270
NA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.403	0.000	-0.737	0.000
MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.785
FE	0.000	0.000	0.000	0.735	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.254
CU	0.000	0.000	0.000	0.877	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MN	0.326	0.000	0.000	0.371	0.376	0.000	0.000	0.000	0.000
ZN	0.000	0.000	0.000	0.838	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
LF	-0.262	0.000	-0.528	0.000	-0.262	-0.506	0.000	0.000	0.000
LG	0.000	-0.521	0.000	0.000	0.000	0.625	0.000	0.000	0.000
AMF	0.000	-0.309	0.790	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AF	0.000	0.000	0.821	0.000	0.299	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.802	0.436	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AG	0.000	0.917	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AMG	0.000	0.808	0.000	-0.000	-0.261	0.000	0.000	0.000	0.000
TU	-0.456	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.691	0.000	0.000
LOC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
H	0.290	0.000	-0.289	0.000	-0.761	0.000	0.000	0.000	0.000
T	0.739	0.000	-0.359	0.000	0.000	-0.259	0.000	0.000	0.000
PRO	0.265	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.853	0.000	0.000
N	0.779	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.376	0.000	0.000
ORG	0.782	0.267	0.000	0.000	0.000	0.000	0.391	0.000	0.000
P	0.284	0.000	-0.385	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.598
ARC	0.000	0.000	-0.774	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VP	3.337	3.304	3.207	2.434	2.020	1.767	1.729	1.460	1.411

En la zona de estudio y para determinar la degradación del suelo se representan los dos primeros factores de los 23 horizontes A: factor fertilidad (F1) y factor textura gruesa (F2), diferenciando el tipo de suelo de cada muestra (fig. 2). Los resultados de esta zona suponen una generalización de las 240 muestras del Proyecto de Investigación.

Los suelos que tienen un factor 1 positivo se localizan en las laderas de la Muela. Son suelos climax, Leptosoles y Kastanosems, que por recibir un aporte continuo de restos vegetales presentan un contenido en materia orgánica superior al 2%. Aparecen también calcisoles que ocupan los conos aluviales que se encuentran soportando una vegetación natural de espartal y matorral.

Los suelos que tienen un factor 1 negativo son en gran parte calcisoles que han visto reducidos sus aportes vegetales por una puesta en

cultivo, siendo el proceso edafogénico más importante el lavado y acumulación de carbonato cálcico. Los Fluvisoles, suelos habitualmente fértiles, se presentan aquí con factor negativo debido a que proceden de materiales de arrastre de naturaleza margosa de los relieves circundantes.

Se puede comparar claramente la fertilidad en Kastanosems y Calcisoles cultivados puesto que los factores de formación de estos dos tipos de suelos estudiados, clima, topografía y material litológico son similares. Se aprecia que los Calcisoles tienen una clara pérdida de fertilidad, por lo que se puede considerar que se originan como degradación de los Kastanosems.

Los suelos no degradados son aquellos que tienen un mayor factor fertilidad, derivado de una cubierta vegetal no degradada y abundante, constituida por coscojar (*Rhamno-Quercetum cocciferae daphnetosum gnidii*), retamar

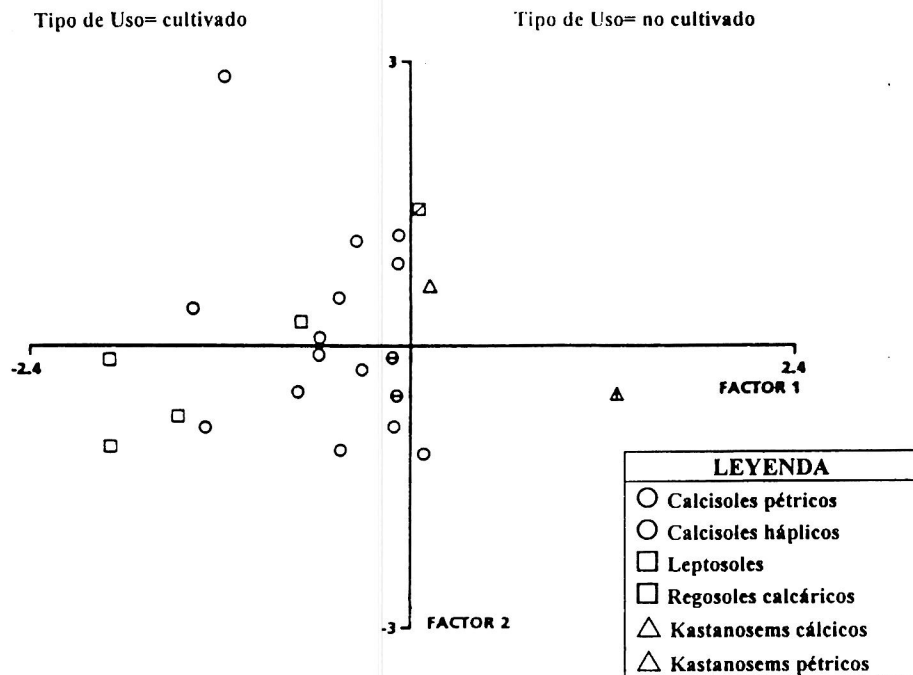


Figura 2. Puntuaciones factoriales

(*Genistetum valentinae*), y carrascales (*Quercetum rotundifoliae arenarietosum intricatae*), combinados con matorrales, espartales, tomillares y pastizales.

Si los suelos se someten a cultivo de espartales, no pierden su capacidad de producción, pero cuando el tapiz vegetal disminuye y es sustituido por cultivos que no aportan la suficiente materia orgánica para mantener el equilibrio ecológico, tales como cereales, almendros, vid u olivo, se produce una disminución considerable en la fertilidad de los mismos y un aumento paralelo de su proclividad a la degradación. Este problema se agrava en aquellos casos en que el material original es margoso y con alto contenido en carbonato cálcico en las fracciones más finas.

CONCLUSIONES

De la combinación de parámetros físicos, geológicos, geomorfológicos y edafológicos se desprenden los siguientes hechos, que suponen una generalización de los resultados del Proyecto al que se alude:

En zonas altas de ladera se localizan los leptosoles. En zonas bajas de ladera, conos aluviales y glaciares aparecen horizontes cálcicos y petrocálcicos y, en función de que su horizonte A sea móllico u órico, los suelos mayoritarios son Kastanosems y Calcisoles, respectivamente. Ocupando antiguos cauces fluviales aparecen Fluvisoles.

La mayor parte de los suelos de la zona estudiada están cultivados, y es clara la disminución de fertilidad en todos ellos. Como suelos clímax no degradados se encuentran los Leptosoles, Kastanosems y algunos Calcisoles, en los que una importante cubierta vegetal de coscojar, carrascal o matorrales diversos, ha hecho de la humificación uno de los procesos determinantes en su génesis. Como suelos degradados aparecen otros calcisoles cultivados de cereales, almendros y vid, en los que se ha roto el equilibrio suelo-vegetación, y los

fluvisoles formados a partir de sedimentos margosos.

La disminución del contenido en materia orgánica, debido a la roturación y arado repetido que conlleva la puesta en cultivo y la consiguiente disminución de los aportes de restos vegetales da como resultado la degradación de la estructura del suelo, pérdida de productividad y consiguiente desertificación progresiva.

REFERENCIAS

- Alías, L.J., Ortiz, R., Sánchez, A., Linares, P., Martínez, J. y Marín, P. (1992). *Proyecto LUCDEME. Mapa de Suelos E. 1:100.000 Totana (954)*. Minist. Agric. Pesca y Alimentación.- Universidad de Murcia, 130 pp.
- Alías, L.J., Martínez, J. y Tudela, M.L. (1993). Aplicación del análisis estadístico al estudio de la degradación de suelos calizos en la Región de Murcia. *Problemática geoambiental y desarrollo (R. Ortiz Ed.)* Murcia. 469-476 pp.
- Bernard, M. y Icole, M. (1984). Les relations Pédologie-Géomorphologie-Géologie du Quaternaire. Apports reciproques. *Livre Jubilaire du Cinquantenaire, Association Francaise pour l'Etude du Sol, 141-152*.
- BMDP (1986). *Statistical Software, INC.*, vol. 1 y 2. Los Angeles.
- Duchaufour, Ph. (1970). *Précis de Pédologie*. Masson & Cie, París. 481 pp.
- Emberger, L. (1955). Une clasificacion biogéographique des climats. *Revisite Travail Botanique Zoologique Fac. Science*, 7, 3-43.
- ENADIMSA, (1974). *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Mula (912)*. Madrid.
- FAO. (1988). *Soil Map of The World, Revised Legend*. World Soil Resources Report 60, FAO, París.
- Kaiser, H.F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis.

- Educational and Psychological Measurement*, **20**, 141-151.
- Riquier, Bramaio y Cornet (1970). El sistema de evaluación de la productividad agraria de los suelos de la FAO. En *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. CEOTMA (1982), **3**.
- Soil Survey Staff. (1975). *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA-SCS Agric. Handb. 436. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- Tudela, M.L. (1993). *Estado actual de la degradación de suelos calizos en varias zonas de la Región de Murcia*. Tesis doctoral, Universidad de Murcia. Murcia. España.
-