

VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y SU AGREGACION EN UN TRANSECTO ALTITUDINAL DE LA PROVINCIA DE ALICANTE

M. D. SORIANO (1), A. CALVO (2), C. BOIX (2) & V. PONS (1)

(1) Departamento de Biología Vegetal. U.D. Edafología. Facultad de Farmacia.
46100 Burjassot. Valencia

(2) Departamento de Geografía. Facultad de Geografía e Historia. 46100 Valencia.

Resumen. Se estudian las propiedades de los suelos en una área mediterránea, localizada al norte de la provincia de Alicante. Comparando en tres zonas de estudio, situadas en un transecto altitudinal y, sobre materiales calizos, la variación de dichas propiedades en relación con la altitud. Los perfiles de suelos analizados se distribuyen en las laderas de estudio a diferente altitud y exposición, observando si existen modificaciones en algunas de sus propiedades como consecuencia del gradiente climático y altitudinal.

La variación en la exposición de las laderas influye tanto como la altitud en algunas propiedades de los suelos, produciendo un aumento de la variabilidad en la estabilidad de los agregados en función de la altitud, y de los microagregados con respecto a la orientación.

La estabilidad de macroagregados se correlaciona con la humedad y el contenido en materia orgánica y arcilla, parámetros que se relacionan con el gradiente altitudinal. Mientras que la profundidad del suelo y el contenido en macroagregados (5-2 mm), son las propiedades que más afectan a la microagregación en los suelos estudiados.

Palabras clave: Propiedades del suelo, gradiente climatológico, agregación, orientación de las laderas, Alicante

Summary. The soil properties of a Mediterranean area located in the northern part of Alicante are studied. The variation of soil properties with altitude are analyzed in areas placed on limestone materials. Soil profiles analyzed are distributed in the slopes under study at different altitudes and exposition. Climatic and altitudinal gradient are taken into account to analyze soil properties.

The different slope exposition aspect as much as altitude in soil properties yielding changes in the aggregate stabilities as a function of altitude and of microaggregation as a function of orientation.

Macroaggregate stability is correlated to moisture and organic matter and clay contents which are related to the altitude gradient. Soil depth and macroaggregate content are the properties affecting mostly microaggregation in the soils studied.

Key words: Soil properties, climatological gradient, aggregation, aspect of the slopes, Alicante.

1. Introducción

Las condiciones climáticas influyen sobre las propiedades de los suelos, de manera que cambios en dichas condiciones pueden producir considerables modificaciones en la vegetación natural y en las prácticas de utilización del suelo. Esto lleva a cambios en la distribución de las especies, dinámica, y diversidad de ecosistemas. Las diferencias en la temperatura, precipitación y radiación solar dentro de un mismo ámbito de ritmo estacional, repercuten sobre cambios en los patrones de vegetación (tipo, densidad, dinamismo, composición de especies, producción de biomasa, hojarasca y raíces), así como sobre algunas propiedades de los suelos. Las condiciones climáticas favorables originan el desarrollo de suelos bien estructurados, aunque existen muchos factores que influyen sobre el estado de la estructura como antiguas actividades agrícolas, usos actuales, o el abandono de cultivos.

El clima, la vegetación y el régimen de humedad influyen sobre las propiedades del suelo. Si se realiza una variación en estos factores dichas propiedades pueden modificarse, algunas rápidamente al estar influidas directamente por la cubierta vegetal, como son las relativas a la agregación del suelo (procesos biológicos) y contenido en materia orgánica, mientras que otras como la textura del suelo (distribución de partículas) son bastante constantes siendo necesario 103 años para producirse modificaciones importantes sobre ellas (Varallyay, 1990).

Entre las características del suelo, la estructura (Rose, 1966) y la estabilidad o resistencia de los agregados (Strickland et al, 1988), son básicas para determinar el comportamiento del suelo frente a procesos erosivos.

A consecuencia de cambios en el régimen climático, se originan a corto plazo modificaciones en la rugosidad de la superficie y procesos de microcirculación. Como consecuencia de ello, se producen cambios en el suelo principalmente en lo que respecta a su estructura y agregación, que modifican los procesos hidrológicos y predisponen a los materiales para su transporte mecánico (Imeson y Verstraten, 1989).

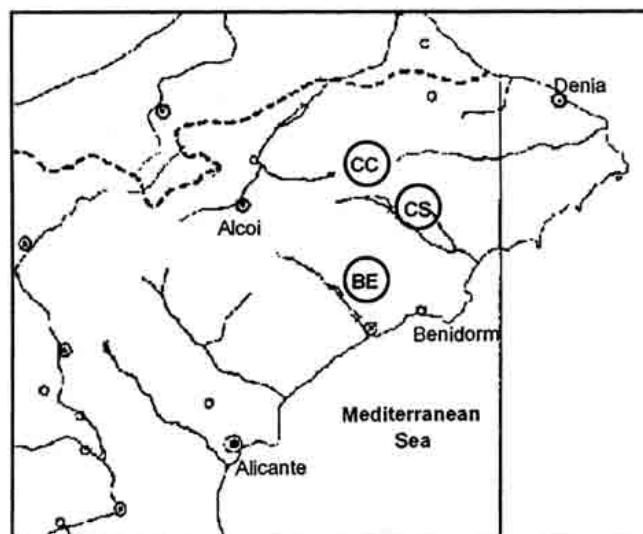


Fig. 1. Localización de las zonas de estudio
(Location of the study zones)

Nuestro objetivo en este trabajo consiste en estudiar las propiedades de los suelos, que actualmente se encuentran en unas condiciones ambientales contrastadas relacionadas con la altitud y exposición. Para ello se establecieron tres zonas de estudio sobre idénticas litologías (materiales calizos del Cretácico superior: Senonense y Turorense) al norte de la provincia de Alicante, situadas cerca de los municipios de Benidorm, Callosa d'En Sarrié y Castell de Castells. Dichas zonas se distribuyen entre 100 y 1000 metros sobre el nivel del mar, con precipitaciones totales anuales de 350, 500 y más de 1000 mm., respectivamente y

marcan de norte a sur un gradiente climático y altitudinal.

En estas zonas se realizó el estudio de los suelos, incidiendo en aquellas propiedades que influyen directamente sobre la agregación. Puesto que la agregación del suelo es un indicador de su estructura, se intenta explicar, cuales serían las propiedades que pueden modificarse a corto plazo bajo las condiciones climáticas actuales, y su relación con el resto de propiedades del suelo.

2. Metodología

2.1 Material y métodos

El estudio de los suelos, basado en descripción de perfiles y su análisis se realizó en seis laderas de las tres áreas seleccionadas a diferentes altitudes, y con exposición norte y sur para cada caso. Un total de 26 perfiles de suelo se distribuyeron a lo largo de las seis laderas de estudio tanto en exposición norte y sur, según las diferentes unidades morfológicas y de vegetación. Los suelos fueron descritos en el campo (F.A.O., 1977) y clasificados (F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1988). Los análisis de laboratorio realizados fueron: textura (Ministerio de Agricultura, 1986), pH, salinidad (Richards, 1964), contenido en carbonatos (Jackson, 1958), contenido en materia orgánica (Wallkey & Black, 1934), capacidad de cambio catiónico (Peech, 1945) y microagregación (Edwards & Bremner, 1967). Test de estabilidad de agregados por impactos de gotas de agua individuales (Drop test, CDN: Counting Number of Drops), para determinar la estabilidad de los agregados en la fracción 4-4.8 mm (Imeson & Vis, 1984; Imeson & Verstraten, 1985).

Tabla 1. Características de las zonas de estudio.
(Characteristics of the study zones)

Localización	Litología	Serie de vegetación	Usos del suelo	Exposición Laderas	Altitud	Pendiente
Benidorm	Calizas Senonense	<i>Chamaeropo-Rhamnetum lycioides</i>	Forestal-agrícola abandonado	75° 210°	74-90 74-106	15° 20°
Callosa	Calizas Cenomanense-Turorense	<i>Quercococciferae-Pistacietum lentisci</i>	Forestal-agrícola abandonado	10° 240°	280-360 282-344	25° 30°
Cocoll	Calizas Cenomanense	<i>Rubio longifoliae-Quercetum rotundifoliae</i>	Forestal	10° 120°	994-1026 850-910	20° 18°

La monitorización de las condiciones meteorológicas se ha realizado durante un año completo, con tres estaciones meteorológicas instaladas en las laderas sur, que recogen la cantidad e intensidad de las precipitaciones, temperatura y humedad relativa. La temperatura del suelo se determina con sensores situados a 2 cm de profundidad, en diferentes orientaciones y ambientes.

2.2. Zonas de estudio

El estudio se realizó en las áreas seleccionadas a diferente altitud y exposición, para comparar tanto las diferencias a nivel de exposición de la cuenca como de gradiente topográfico. Las características de las laderas de estudio se encuentran en la Tabla 1 y su situación en la figura 1.

La zona de estudio más elevada se localiza en las proximidades del pico del Cocoll, en el término municipal de Castell de Castells. En la parte alta de estas laderas es frecuente la presencia de afloramientos, limitando el espesor del suelo (18 cm), excluyendo coluvios y algunas zonas de depósito donde se llegan a alcanzar 92 cm en la ladera sur. En la ladera norte, los suelos no superan los 45 cm de profundidad. La pedregosidad superficial es elevada en toda la ladera, con presencia de gravas y clastos en el interior del perfil. Desde el punto de vista morfológico esta zona más elevada (CC) presenta laderas semejantes con perfiles de tramos rectilíneos. Se trata de las laderas de menor actividad, con una zona central más erosionada, y un perfil de roca cóncavo en la zona alta y un depósito en la zona inferior. Su degradación esta relacionada con el pastoreo e incendios sucesivos.

La zona de estudio intermedia (CS) se localiza en las proximidades del monte Almedia. Presenta una elevada pendiente, con afloramientos rocosos (50%) en la parte más alta de la ladera, que disminuyen en la zona inferior, así como una elevada pedregosidad superficial. La utilización actual es forestal, existiendo bancales abandonados y en la actualidad destruidos, también se observan restos no muy antiguos de un incendio forestal. Morfológicamente consta de dos laderas separadas por un barranco; ambas corresponden a un tipo cantil-talud. Se trata de laderas activas en las que aparecen tres tramos: pie de cantil con escasa cubierta detritica y abundantes diaclasas, tramo rocoso que corresponde a un antiguo talud de derrubios erosionado con pequeños canchales y un último tramo con mayor potencia de derrubios con construcción de terrazas agrícolas ya abandonadas.

Las dos laderas de estudio situadas en las proximidades de Benidorm, presentan características comunes en lo que se refiere a la escasez de afloramientos rocosos y la elevada la pedregosidad superficial alcanzando en algunos puntos de la ladera sur el 80%. Esta tercera zona a menor altitud (BE) corresponde a un típico valle con esquema convexo-recto-cóncavo relleno de sedimentos muy erosionados en la actualidad. La concavidad basal se compone de segmentos con pérdida progresiva de pendiente causada por el relleno de fondo de valle. Se trata de una zona poco antropizada cuya degradación se ve paliada por una elevada actividad biológica.

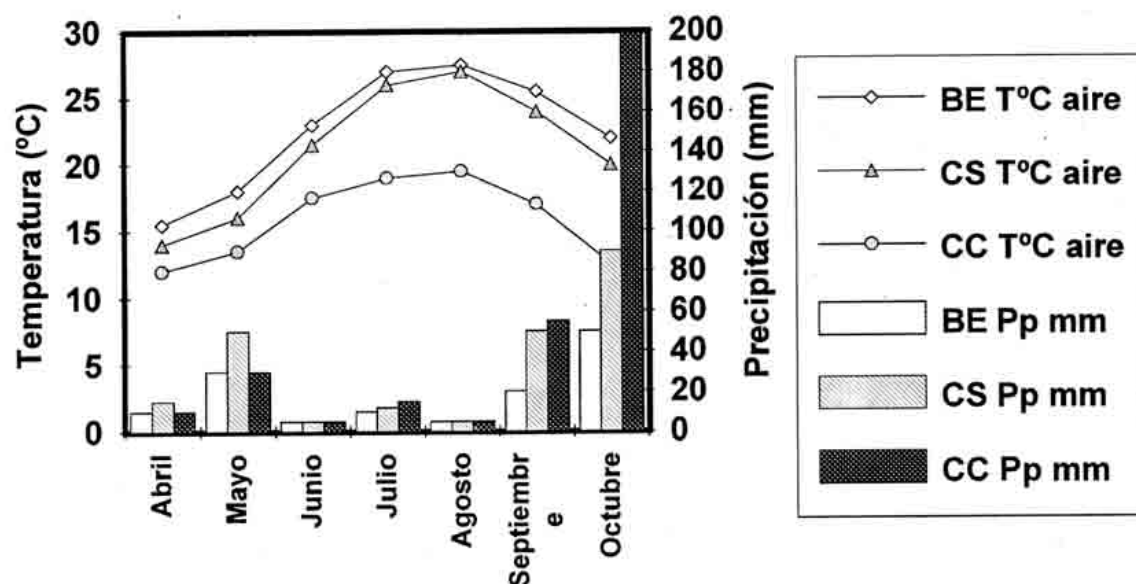


Fig. 2. Temperatura del aire y precipitación mensual en las tres zonas de estudio (BE: Benidorm, CS: Callosa, CC: Cocoll). Air temperature and monthly precipitation of the three study zones (BE: Benidorm, CS: Callosa, CC: Cocoll)

2.3. Temperatura y precipitación

Los datos de temperatura y precipitación recogidos durante los meses de Abril a Octubre se presentan en la figura 2 donde se observa el gradiente climático entre las zonas de estudio seleccionadas. Los períodos secos comprenden los meses de Junio a Agosto, con máximos de precipitación en Octubre principalmente en la zona más alta. Las temperaturas siguen consecuentemente una tendencia inversa a las precipitaciones.

El seguimiento de la temperatura del suelo bajo diferentes ambientes en las zonas extremas del gradiente nos indican diferencias claras en el transecto elegido. La temperatura del suelo en las laderas de estudio de las zonas extremas (CC y BE) en ambas orientaciones, sigue un gradiente paralelo a la altitud. De la misma forma, en diferentes posiciones y coberturas observamos cómo la presencia de vegetación, principalmente en los meses secos, modifica la temperatura del suelo respecto a zonas no vegetadas, mientras que a medida que nos acercamos al Otoño las diferencias entre las temperaturas de ambos ambientes, se aproximan llegando incluso a producir una ligera inversión en la zona más alta.

Tabla 2. Perfiles de suelos de Benidorm. Propiedades físicas y químicas
(Soil profiles in Benidorm. Physical and chemical properties)

Benidorm		H ₂ O		Cl ₂ Ca		dS/m							cmol (+)/Kg				
		%	1-2.5	1-2.5	1-5	%	%	%	%	%							
Horizonte	Prof	Humedad	pH	pH	CE	CaCO ₃	MO	Arena	Limo	Arcilla	CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	%S	
BEN1A	0-5	2.46	8.01	7.66	0.29	51.80	4.87	23.11	64.20	12.69	15.88	13.15	1.37	0.70	0.66	100	
BEN1AC	5-7	2.77	8.16	7.69	0.29	47.64	5.28	22.50	65.10	12.40	20.94	19.07	1.27	0.43	0.17	100	
BEN2A	0-7	2.46	8.18	7.72	0.28	25.90	6.14	23.98	65.27	10.75	19.57	18.16	0.72	0.63	0.07	100	
BEN2AC	7-9	2.67	8.20	7.68	0.18	49.03	5.60	22.60	63.70	13.70	22.64	19.60	2.62	0.40	0.02	100	
BEN3A	0-5	2.56	8.29	7.70	0.27	43.21	5.43	19.91	69.99	10.10	26.80	23.51	2.74	0.42	0.12	100	
BEN3AC	5-7	2.35	8.20	7.62	0.33	44.56	5.26	20.89	70.98	8.13	25.21	21.98	2.11	0.47	0.66	100	
BEN4A	0-8	2.46	8.25	7.74	0.29	51.22	4.78	24.29	56.91	18.80	20.95	19.34	1.22	0.37	0.02	100	
BEN4AC	8-10	2.46	8.20	7.66	0.32	44.61	4.65	24.61	54.03	21.36	22.77	20.51	1.85	0.39	0.01	100	
BEN5A	0-7	3.20	8.17	7.70	0.29	39.15	5.11	23.04	55.93	21.03	23.64	21.11	2.12	0.32	0.09	100	
BEN5AC	7-9	3.20	8.21	7.68	0.32	34.80	5.04	21.02	55.98	23.00	31.55	29.34	1.49	0.48	0.25	100	
BES1A	0-8	2.88	8.24	7.70	0.34	46.24	5.39	28.83	52.78	18.39	25.21	21.75	2.70	0.42	0.34	100	
BES1AC	8-10	2.56	8.28	7.71	0.35	44.65	5.50	28.50	50.82	20.77	24.54	20.61	2.35	0.78	0.80	100	
BES2A	0-8	3.52	8.34	7.75	0.24	34.91	4.60	24.59	49.62	25.79	29.51	27.48	1.62	0.37	0.03	100	
BES2AC	8-10	3.52	8.35	7.69	0.30	33.46	4.34	22.05	52.78	25.17	26.30	22.76	2.51	0.48	0.55	100	
BES3A	0-8	2.99	8.27	7.84	0.25	41.23	5.23	23.27	51.45	25.28	28.30	25.42	1.86	0.61	0.40	100	
BES3AC	8-10	3.31	8.16	7.69	0.26	40.64	4.39	19.10	51.84	29.06	27.40	23.90	2.25	0.45	0.80	100	
BES4A1	0-6	2.99	8.23	7.64	0.37	47.74	4.97	23.27	46.54	30.19	23.54	19.22	2.74	0.78	0.80	100	
BES4A2	8-10	3.52	8.14	7.69	0.29	34.91	5.65	22.65	44.53	32.82	27.14	23.66	2.40	0.48	0.60	100	

Tabla 3. Perfiles de suelo Callosa. Propiedades físicas y químicas
(Soil profiles in Callosa. Physical and chemical properties)

Callosa		H ₂ O Cl ₂ Ca dS/m										cmol (+)/kg				
CS		%	1-2.5	1-2.5	1-5	%	%	%	%	%						
Horizonte	Prof	Humedad	pH	pH	CE	CaCO ₃	MO	Arena	Limo	Arcilla	CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	%S
CSS1Ah	0-5	5.82	7.89	7.56	0.22	2.98	6.97	17.25	46.85	35.90	38.20	34.60	2.31	1.25	0.03	100
CSS2Ah	0-12	6.27	7.98	7.59	0.22	2.99	7.17	22.78	44.83	32.39	32.40	27.37	2.62	1.93	0.48	100
CSS2AC	12-30	7.53	7.91	7.53	0.27	6.07	6.17	10.69	45.41	43.90	28.42	24.01	2.39	1.43	0.59	100
CSS2Btc	30-42	7.07	7.95	7.55	0.22	3.02	6.04	8.18	41.20	50.62	40.10	38.42	0.87	0.32	0.49	100
CSS3A1	0-15	3.52	8.21	7.63	0.21	34.19	5.13	27.03	33.49	39.48	31.60	28.61	1.36	0.90	0.72	100
CSS3A2	15-32	4.71	8.30	7.77	0.22	30.68	4.66	19.62	51.65	28.73	32.44	29.94	1.64	0.48	0.38	100
CSS3Bw	32-55	4.28	8.29	7.75	0.21	43.39	4.60	16.06	55.46	28.48	29.60	26.94	1.63	0.43	0.60	100
CSS3Bk	55-62	3.41	8.34	7.72	0.20	47.78	3.18	24.22	46.32	29.46	23.40	20.44	1.49	0.27	1.20	100
CSS4A	0-18	6.95	8.33	7.64	0.22	8.27	3.13	15.04	54.68	30.19	27.30	20.98	1.68	1.02	3.62	100
CSS4AC1	18-42	8.81	8.45	7.77	0.12	21.09	1.46	22.78	49.02	28.20	24.60	18.80	0.90	1.10	3.80	100
CSS4AC2	42-58	7.18	8.54	7.69	0.18	20.72	1.26	20.77	22.29	27.70	32.70	28.20	0.49	0.39	3.62	100
CSS42C1	58-78	8.46	8.61	7.82	0.15	41.18	1.04	20.46	45.21	34.33	37.94	35.43	1.03	0.42	1.06	100
CSS42C2	78-120	9.53	8.66	7.79	0.17	37.41	1.12	12.48	45.54	41.98	39.60	38.18	0.50	0.45	0.47	100
CSN1Ah	0-7	2.77	8.13	7.42	0.23	43.66	14.02	32.04	56.94	11.02	43.18	39.04	2.78	0.96	0.40	100
CSN1AC	7-16	4.38	8.15	7.49	0.17	46.96	12.15	40.91	54.20	4.98	45.42	42.82	1.76	0.51	0.33	100
CSN4Ah	0-8	6.50	8.50	7.42	0.17	21.83	6.11	23.53	44.64	31.83	45.60	42.66	1.28	1.32	0.35	100
CSN4AC	8-10	5.60	8.60	7.57	0.13	23.35	5.87	22.77	45.70	31.53	33.24	29.99	1.92	1.14	0.20	100
CSN2Ah	0-13	6.61	8.31	7.52	0.12	42.83	6.84	33.35	48.80	17.85	30.21	27.71	1.75	0.50	0.25	100
CSN2Bt	13-32	6.27	8.27	7.55	0.14	35.71	6.67	27.10	48.77	24.13	35.06	31.64	2.15	0.94	0.33	100
CSN2Cmk	32-51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.25	15.89	1.60	0.47	0.29	100
CSN3Ah1	0-7	4.82	8.38	7.45	0.12	45.46	5.47	29.00	52.24	18.76	29.60	27.27	1.44	0.52	0.37	100
CSN3Ah2	7-31	6.16	8.47	7.52	0.13	34.80	5.16	32.00	51.51	16.49	35.40	31.82	1.89	1.03	0.66	100

2.4. Análisis estadístico

Se ha realizado un análisis estadístico con los datos obtenidos en el estudio de las propiedades de los suelos. Para ello se ha utilizado el paquete estadístico SPSS-X versión 3.1. Los datos fueron procesados siguiendo las etapas: 1) reducción de las dimensiones del problema mediante aplicación de análisis factorial a las variables físicas y químicas analizadas, excluyendo las relacionadas entre si, después de una selección previa para identificar el modelo factorial más eficaz (Norusis, 1985); 2) interpretación de los factores, análisis discriminante usando los factores obtenidos; 3) matriz de correlación y regresión múltiple de las variables estudiadas, usando como variables dependientes aquellas que están más relacionadas con el valor de la estructura.

3. Resultados

3.1. Estudio de los suelos

En Benidorm (BE) aparecen suelos poco desarrollados, Leptosoles líticos con una profundidad máxima de 10 cm, aunque de forma variable aumenta esta profundidad en las zonas bajas de las laderas. Presentan en general, estructura de tipo granular moderada o fina, pero cierta resistencia a la rotura, indicando que a pesar de su escaso desarrollo estos suelos presentan una buena estructura. Como característica favorable poseen una elevada actividad biológica, favoreciendo la aireación del suelo la presencia de lombrices y la existencia de masas amorfas, producto de su actividad que favorecen la agregación.

El contenido en carbonatos es elevado, variando entre 25.90 y 51.80%. Su textura es franco-limosa con un incremento del contenido en arcilla en las partes media y baja de las laderas y una elevada actividad biológica. En todos los horizontes los valores de pH se hallan ligeramente por encima de 8 y la conductividad eléctrica entre 0.37 y 0.18 dS/m. Se trata de suelos saturados en bases con valores de C.I.C. entre 15.88 a 31.55 cmol(+)/Kg. El Calcio es el catión dominante (13.15 y 29.34 cmol(+)/Kg de suelo), siendo el Magnesio más elevado para la ladera sur (0.72 - 2.62 cmol(+)/Kg). El Potasio presenta (con un rango de 0.32 y 0.78 cmol(+)/Kg) los valores más altos en los horizontes subsuperficiales, al contrario que el Sodio de cambio siendo éste el que mayor variación presenta (0.01 - 0.80 cmol(+)/Kg) (Tabla 2).

En la parte superior de la ladera de Callosa (CS), zona intermedia de estudio, se desarrollan suelos (Leptosoles líticos) con 5 cm de espesor y elevado contenido en materia orgánica, de textura franco-arcillosa y estructura fina-granular. En el centro de la ladera y sobre zonas protegidas por la vegetación se desarrollan Luvisoles crómicos, con textura franco-arcillosa-limosa y una mejor agregación especialmente en el horizonte Bt. En la parte media baja de las laderas aparece una zona con desarrollo de Calcisoles háplicos mucho más profundos que los suelos anteriores (65 cm.) que se encuentran modificados por antiguas prácticas agrícolas. Su elevado contenido en carbonatos (43-47%) es la principal característica que afecta a la degradación de su estructura. Finalmente, en la ladera Sur, en la parte más baja del coluvio aparecen Regosoles calcáreos muy pedregosos. Los rangos en la capacidad de intercambio catiónico van desde 18.25 hasta 45.60 cmol(+)/Kg, siendo el calcio el catión dominante, presentando el sodio una menor variabilidad espacial frente a Benidorm (Tabla 3).

Los suelos en Cocoll (CC) son muy similares a los que aparecen en la parte superior de las laderas en Callosa, Leptosoles líticos sobre las superficies más pedregosas y erosionadas y Luvisoles crómicos en las zonas con mayor desarrollo y espesor de suelo. La textura es franca o franco arcillosa y su principal característica en relación con otras áreas es su elevado contenido en materia orgánica (12.68 %), lo que condiciona la capacidad de intercambio catiónico más elevada de las tres zonas de estudio.

El contenido en carbonatos es inapreciable en la ladera norte (máximos de 2.86%), mientras que en la sur se observa cierta carbonatación en los horizontes superficiales (32.42%), con valores inapreciables para los horizontes subsuperficiales. Los valores de pH (7.37 a 8.45), presentan una elevación para los horizontes inferiores. Oscilando la conductividad eléctrica entre 0.13 a 0.36 dS/m, siendo en general los valores más elevados para la ladera norte. Son suelos saturados en bases donde el Calcio es el catión dominante. El Magnesio de cambio varía de 0.94 a 3.53 cmol(+)/Kg en orientación sur, obteniéndose los máximos en la norte (4.99 cmol(+)/Kg). Respecto al Potasio (0.32 y 1.65 cmol(+)/Kg), no existen diferencias notables entre orientaciones. El Sodio con gran variación oscila entre 0.02 y 3.61 cmol(+)/Kg (Tabla 4).

3.2. Estudio de la agregación en horizontes superficiales

3.2.1. Test de estabilidad de agregados

Los agregados más estables se localizan con mucha diferencia del resto en los horizontes superficiales de los suelos de Cocoll norte. Los valores medios por laderas siguen el orden en suelo seco: CCN > BES > CCS > CSS > CSN > BEN. Se observa que excepto en Cocoll norte donde la estabilidad de agregados es muy superior al resto, las laderas sur presentan valores ligeramente superiores a las norte en lo que se refieren a la estabilidad de agregados en horizontes superficiales.

En suelo húmedo (pF1) los valores se incrementan en los suelos de Benidorm y Cocoll, siendo de nuevo en exposición sur donde se alcanza la mayor estabilidad. Benidorm y Cocoll norte presentan valores similares de agregados supervivientes y Callosa norte los valores más bajos. Se observa que esta

estabilidad en la ladera de Benidorm norte aumenta considerablemente en suelo mojado, no así en Callosa norte donde se alcanza la menor diferencia respecto a suelo seco.

Tabla 4. Perfiles de suelos Cocoll. Propiedades físicas y químicas
(Soil profiles in Cocoll. Physical and chemical properties)

Cocoll			H ₂ O	Cl ₂ Ca	dS/m											cmol (+)/kg				
		%	1-2.5	1-2.5	1-5	%	%	%	%	%										
Horizonte	Prof	Humedad	pH	pH	CE	CaCO ₃	MO	Arena	Limo	Arcilla	ClC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	%S				
CCS1Ah	0-5	3.73	7.97	7.34	0.22	15.98	12.13	23.22	50.07	26.71	40.06	35.74	1.37	1.07	1.89	100				
CCS2Ah	0-6	6.84	7.37	7.01	0.32	1.65	13.73	25.58	41.71	32.71	43.76	36.44	3.53	1.65	2.14	100				
CCS2AC	6-15	4.84	7.80	7.33	0.28	1.62	10.25	31.93	42.30	25.77	39.07	34.40	3.33	0.78	0.56	100				
CCS22Bt	15-35	5.04	7.65	7.20	0.21	1.62	4.67	35.30	36.78	27.92	40.25	37.83	2.04	0.27	0.11	100				
CCS3Ah1	0-9	2.77	8.06	7.52	0.25	32.44	8.86	61.00	26.27	12.73	40.93	37.89	1.58	0.78	0.68	100				
CCS3Ah2	9-17	5.88	7.93	7.35	0.22	11.44	10.13	18.33	58.27	23.40	38.73	36.31	1.73	0.60	0.09	100				
CCS4Ah	0-8	2.88	8.07	7.50	0.23	28.51	9.62	34.86	47.86	17.28	42.36	37.43	1.23	0.74	2.97	100				
CCS4AC	8-12	5.77	7.94	7.39	0.22	8.98	12.68	33.18	50.52	16.30	45.60	39.97	1.40	0.63	3.61	100				
CCS5Ah	0-10	5.93	7.67	7.23	0.22	0.00	11.65	18.02	36.29	45.69	42.30	38.22	2.91	0.83	0.34	100				
CCS5AB	10-22	7.41	8.12	7.47	0.16	0.00	2.74	14.97	41.92	43.11	39.60	37.48	1.35	0.40	0.37	100				
CCS5Bt1	22-36	8.46	8.33	7.54	0.18	2.52	1.87	9.37	27.30	63.33	40.01	37.96	1.23	0.35	0.47	100				
CCS5Bt2	36-52	9.41	8.45	7.68	0.14	0.00	1.12	19.74	18.50	61.76	38.06	36.56	0.94	0.33	0.23	100				
CCS5Bt3	52-92	8.46	8.37	7.57	0.13	0.00	1.28	45.86	20.33	33.81	42.70	38.54	2.22	0.85	1.09	100				
CCN1Ah	0-7	12.00	7.86	7.44	0.36	1.33	10.90	18.09	45.93	35.98	44.60	38.08	4.99	1.14	0.39	100				
CCN4Ah1	0-5	6.84	8.09	7.47	0.33	2.86	10.87	13.42	66.01	20.57	41.30	35.57	4.48	0.74	0.51	100				
CCN4Ah2	5-10	6.50	8.02	7.51	0.24	1.43	10.71	13.21	56.62	30.17	44.71	41.08	2.95	0.32	0.36	100				
CCN3AB	0-15	5.93	7.84	7.30	0.23	1.42	10.14	16.22	62.27	21.51	43.20	38.64	2.84	1.04	0.68	100				
CCN3Bt1	15-25	8.93	7.99	7.28	0.14	0.00	2.82	8.16	51.32	40.52	45.60	42.57	2.39	0.48	0.16	100				
CCN3Bt2	25-45	9.53	8.22	7.40	0.18	0.00	2.24	6.58	43.55	49.87	47.30	44.71	2.14	0.37	0.08	100				
CCN2Ah	0-12	7.64	7.80	7.15	0.27	1.44	7.71	13.48	41.28	45.24	39.40	32.93	5.30	0.94	0.22	100				
CCN2AB	12-24	6.38	8.05	7.32	0.30	1.42	5.15	10.04	45.96	44.00	42.60	37.03	4.57	0.71	0.29	100				
CCN2Bt	24-45	6.50	8.20	7.50	0.25	2.85	3.29	8.32	42.50	49.18	44.30	39.66	4.18	0.44	0.02	100				

La figura 3 muestra que los coeficientes de variación en suelo seco aumentan para las zonas más elevadas principalmente en orientación norte. Luego la variación a lo largo del gradiente es pequeña para las cuatro zonas inferiores, incrementando para la zona más elevada, principalmente para la exposición norte.

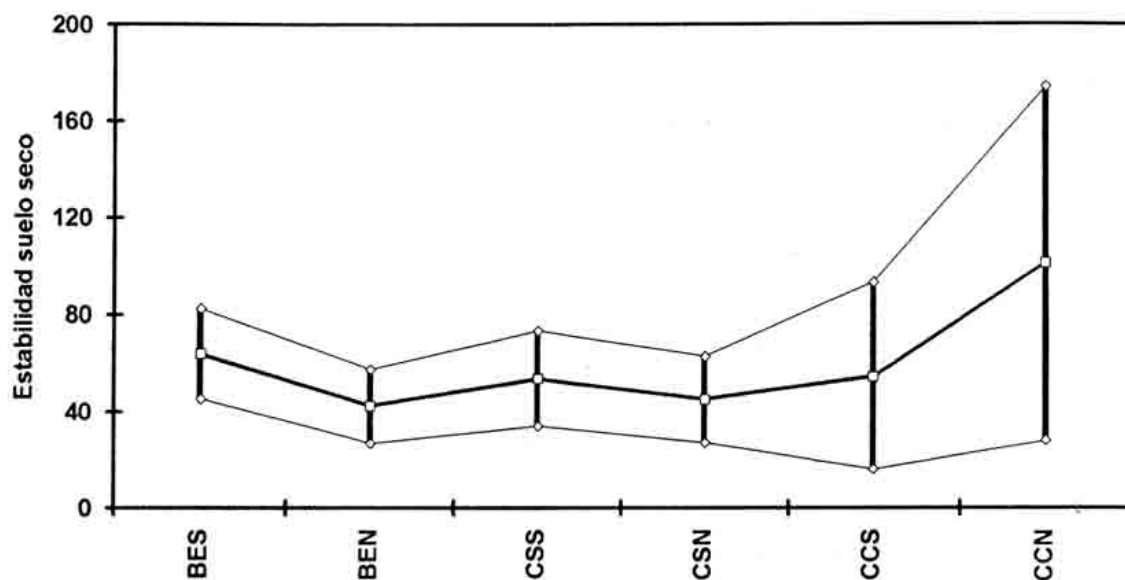


Fig. 3. Test de estabilidad de agregados. Valores medios y coeficiente de variación en los horizontes superficiales de las laderas de estudio
(Aggregate stability test. Average values and variation coefficient in superficial horizons of the study slopes)

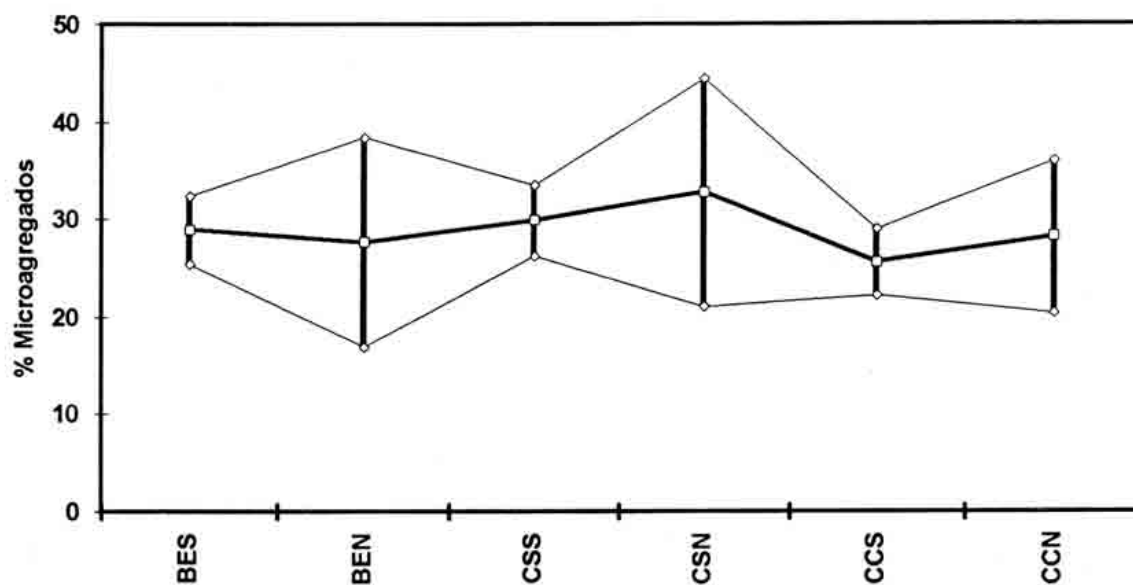


Fig. 4. Porcentaje de microagregados en los horizontes superficiales de los perfiles de suelos. Valores medios y coeficiente de variación
(Microaggregation percentage in superficial horizons of soil profiles. Average values and variation coefficient)

Tabla 5. Macroagregación, valores medios, máximos, mínimos, desviación standar y coeficiente de variación en las zonas de estudio.

(Macroaggregation average, maximum and minimum, standard deviation and variation coefficient in the study zones)

Horizontes superficiales	%10-5mm	%5-2mm	%2-1mm	%1-0mm
Media BEN	26.54	32.82	15.92	24.71
Desv. BEN	11.74	12.67	9.51	12.47
CV (%) BEN	44.22	38.62	59.74	50.47
Max BEN	39.85	39.95	17.30	34.76
Min BEN	14.91	27.74	13.42	16.83
Media BES	27.88	29.34	17.46	25.30
Desv. BES	9.62	4.40	4.36	9.66
CV (%) BES	34.51	15.00	24.96	38.19
Max BES	38.05	32.84	24.75	41.34
Min BES	12.10	21.80	13.60	15.49
Media CSS	10.59	38.98	22.23	26.68
Desv. CSS	7.89	6.29	2.77	11.91
CV (%) CSS	74.49	16.14	12.44	44.63
Max CSS	18.69	45.89	26.33	44.99
Min CSS	1.43	28.76	18.80	15.01
Media CSN	2.79	31.03	23.44	42.72
Desv. CSN	1.79	8.53	1.94	9.13
CV (%) CSN	64.19	27.48	8.26	21.37
Max CSN	5.22	40.62	26.20	56.44
Min CSN	0.36	17.77	21.13	31.09
Media CCS	9.52	30.72	27.10	32.65
Desv. CCS	5.34	7.39	6.31	8.37
CV (%) CCS	56.10	24.07	23.30	25.65
Max CCS	18.39	43.89	37.04	46.64
Min CCS	3.17	21.97	20.70	23.63
Media CCN	10.30	36.24	27.36	26.07
Desv. CCN	2.05	11.21	3.49	7.23
CV (%) CCN	19.88	30.94	12.76	27.73
Max CCN	12.40	54.36	32.80	34.96
Min CCN	7.23	25.93	23.15	15.23

3.2.2. Microagregación

Se comparan los porcentajes de agregados estables en agua en la fracción inferior a 0,105 mm, observando que los valores máximos de microagregados en los horizontes superficiales se obtienen en ambas orientaciones para las laderas de Callosa, y en orientación sur para Benidorm. Los valores medios mínimos se dan en Cocoll sur donde en la zona central de la ladera el suelo presenta una estructura desfavorable con alto contenido en carbonatos. Las laderas de Cocoll y Benidorm norte presentan valores intermedios.

En conjunto se observa que sobre los valores de microagregación influye tanto la altitud como la exposición. Los coeficientes de variación más elevados son para las laderas de exposición norte y no coinciden con el gradiente: Callosa, Benidorm y Cocoll. En orientación sur se sigue el gradiente, pero el coeficiente de variación indica una mayor homogeneidad en esta exposición (figura 4).

3.2.3. Macroagregación

Los horizontes superficiales de los suelos en Benidorm muestran en general los agregados de mayor tamaño (10-5 mm) entre las tres zonas de estudio (Tabla 5). La más alta proporción de agregados grandes aparece en la ladera Norte de Benidorm. La ladera Sur de Benidorm muestra un comportamiento similar en la distribución del tamaño de los agregados, aunque con mejor porcentaje de agregados grandes. La segunda zona con mayor proporción de agregados grandes es la ladera Norte de Cocoll. En ambas zonas se relaciona con la alta actividad biológica o con valores elevados de materia orgánica y arcilla. En Callosa existe una situación intermedia, los mayores porcentajes de macroagregación se distribuyen entre los tamaños (5-2 mm) y (1-0 mm), siendo escaso el contenido en agregados grandes. En su ladera sur, altos porcentajes de agregados en la fracción (1-0 mm) aparecen en los horizontes más alterados o erosionados, mientras que los mayores porcentajes en la fracción (10-5 mm) corresponden a los horizontes superiores de los suelos localizados en la zona más baja de la ladera. En Callosa norte destaca la escasa proporción de agregados grandes frente a Callosa sur, así como el alto porcentaje en agregados de tamaño 1-0 mm. (Tabla 5).

En general se observa menor porcentaje de agregados grandes (10-5 mm) en las zonas medias de las laderas donde la pendiente es mayor originando una menor estabilidad del horizonte superficial y mayor pérdida de suelo en dicho horizonte.

3.3. Regresión múltiple y análisis factorial

Se ha obtenido la matriz de correlación para 29 variables analizadas, obteniendo relaciones significativas con niveles $p = 0.01$ y $p = 0.001$ entre el contenido de microagregados estables con el porcentaje de arcilla, la profundidad del suelo y el contenido en materia orgánica. En el análisis de la varianza se obtienen regresiones múltiples altamente significativas cuando se considera como variable dependiente la estabilidad de los agregados obtenida mediante el Test de la gota. La Tabla 6 muestra correlaciones positivas para la estabilidad de microagregados, contenido en materia orgánica y agregados de tamaño 2-1 mm, y negativas con el contenido de arcilla y arena.

Tabla 6. Resultados de análisis de la varianza y regresiones múltiples
(Results of multiple regression and analysis of variance)

Multiple R = 0.94283	R cuadrado = 0.88893	Constante = 1098.290923
	Suma de cuadrados	Media Cuadrados
Regresión	38443.65283	1830.65013
Residual	4803.58756	1200.89689
<i>Variable dependiente</i>	<i>Estabilidad macroagregados</i>	
Variable	B	Sig T
pH	-8.477316	0.9397
Materia orgánica%	0.484782	0.9724
Arena gruesa %	0.321411	0.9870
Arena fina %	-1.912265	0.9057
Arcilla %	-0.648634	0.9652
Microagregación %	0.886092	0.8227

El análisis factorial de componentes principales se realizó, después de la selección de variables, obteniendo correlaciones entre dichas variables y los nuevos factores. Se aplicó el test de esfericidad de

Barlett y el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (Kaiser, 1974). Como resultado se obtuvieron cinco factores que explicaban el 76.2 % de la varianza acumulada (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del análisis factorial de componentes principales
(Results of Principal Component Analysis)

Kaiser-Meyer-Olkin = .38800						
Test de esfericidad de Bartlett = 549.57536, Significancia = .00000						
% Varianza explicada = 76.2,						
Valores propios = F1(6.334); F2(3.735), F3(2.851), F4(2.058), F5(1.791)						
Variable	Comunalidad	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Profundidad	0.557			0.643		
Humedad	0.753	0.810				
pH H ₂ O	0.771	-0.734				
pH Cl ₂ Ca	0.774	-0.838				
CE	0.854			-0.775		
CaCO ₃ %	0.818	-0.881				
M.O.%	0.912	0.668				
Arena Muy Gruesa	0.653					0.478
Arena Gruesa	0.780	-0.563				
Arena Media	0.869		0.697			
Arena Fina	0.745		0.762			
Limo Grueso	0.729				0.581	
Limo Fino	0.829				-0.833	
Arcilla	0.764	0.676				
CIC	0.861	0.764				
Mg ²⁺	0.837	0.721				
Na ⁺	0.604					0.656
Agreg. 10-5mm	0.778		-0.523			
Agreg. 5-2mm	0.780			0.499		
Agreg. 2-1mm	0.725		0.610			
Microagregados	0.630			0.650		
Estabilidad macroagregados	0.739	0.566				

El Factor 1 (F1) explica el 28.8% de la varianza, este factor combina variables como la humedad del suelo, porcentaje de arcilla y materia orgánica, estabilidad de los macroagregados y el valor de la CIC, presentando con todos ellos una fuerte y positiva correlación, mientras que con el pH presenta una fuerte y negativa correlación.

El Factor 2 (F2) agrupa el contenido de arena con el porcentaje de agregados de pequeño tamaño (2-1) y explica el 17% de la varianza. Mientras que el factor 3 explica el 13% de la varianza, estableciendo correlaciones entre la estabilidad de los microagregados, el contenido en agregados de tamaño 2-5 mm y la profundidad del suelo.

Los Factores 4 (F4) y 5 (F5) explican el 9.4 y 8.1 % de la varianza y ambos correlacionan fracciones texturales, en el primer caso los contenidos de limo y en el segundo la arena gruesa.

4. Discusión de los resultados

Los datos climáticos: precipitación y temperatura del aire y suelo en las tres zonas de estudio muestran su relación con el gradiente, con diferencias relativas tanto a la altitud como a la variación total y estacional en las diferentes zonas.

Las mayores modificaciones en los suelos debidas a la existencia de este gradiente se relacionan con el contenido en materia orgánica y la estabilidad de la estructura; como consecuencia de ello se produce una disminución en el espesor del suelo causando suelos delgados por erosión.

Los suelos de mayor profundidad se localizan en la zona intermedia y alta del gradiente estudiado, situados en zonas favorecidas topográficamente o sobre coluvios. Los valores de pH, conductividad eléctrica y el contenido en carbonatos con algunas excepciones siguen de forma inversa el gradiente altitudinal. Lo contrario ocurre con el contenido de materia orgánica y en consecuencia la capacidad de intercambio catiónico. En las zonas media y alta del gradiente se encuentra un mayor contenido de arcilla, aunque pensamos que la elevación de la fracción fina como indica Varallyay (1990), no es una propiedad modificable a corto plazo por el efecto climático, sino que su influencia más directa es debida a procesos edáficos y al material de origen.

Los agregados de mayor tamaño se ven afectados por la elevada actividad biológica de las laderas de Benidorm, donde se encuentran los agregados más grandes. En el resto de laderas la macroagregación se relaciona con la altitud y en consecuencia con la acumulación de materia orgánica. En lo que respecta a la estabilidad de los agregados se observa que las laderas sur presentan en general valores más elevados de lo esperado, influyendo más la exposición que la altitud, aunque la ladera más elevada en el gradiente sigue siendo la que presenta mayor estabilidad en sus agregados. Además se observa que la elevada actividad biológica debida a la presencia de lombrices en Benidorm influye también sobre la estabilidad de los macroagregados (Lee, 1985). Para el suelo húmedo (pF1), los valores de las medianas aumentan considerablemente, confirmando que la estabilidad del agregado es mayor en suelo húmedo que en seco, por lo que las lluvias causarán mayor agresividad tras periodos prolongados de sequía.

Los mayores porcentajes de microagregados estables en agua se obtienen para las laderas de la zona intermedia, indicando cierta relación con el aumento de arcilla en el suelo. La variabilidad mayor se obtiene en las exposiciones norte donde aumenta la heterogeneidad.

Entre los resultados del estudio estadístico se observa como el contenido en materia orgánica, microagregados y el carácter textural se encuentran correlacionados con la estabilidad de los macroagregados. Las correlaciones obtenidas por análisis de componentes principales extraen cinco factores diferentes, de los cuales dos de ellos presentan una importante significación en nuestro estudio, por un lado (F1) la materia orgánica, contenido en arcilla y humedad que condicionan la estabilidad de macroagregados, y por otro (F3) la profundidad del suelo y los microagregados presentes.

Aunque la relación de la estabilidad de macroagregados con la humedad y el contenido en materia orgánica ya fué indicada por Cerdá (1994), en nuestro caso se establece también una correlación con el contenido de arcilla. Además en el estudio realizado, se obtiene una fuerte correlación entre la profundidad del suelo y la microagregación con el contenido en macroagregados entre 5-2 mm, mayoritarios en los suelos arcillosos de la zona intermedia del gradiente (Boix, 1994).

5. Conclusiones

El desarrollo, profundidad y estabilidad de los suelos son implicaciones directas del efecto climático que indican la degradación de los suelos.

Las propiedades del suelo ligadas directamente a los cambios de precipitación y temperatura son de forma directa el contenido de materia orgánica y la capacidad de cambio cationico, e inversamente la conductividad eléctrica.

El estudio de la estabilidad de los macroagregados como condicionante de la pérdida de suelo nos indica una clara influencia de la estabilidad respecto al gradiente elegido, con variaciones en la zona baja de dicho gradiente, donde la actividad biológica es la causa directa del incremento de los resultados.

La estabilidad en agua de los microagregados no sigue una tendencia paralela al gradiente, sino que se

ve afectada por el contenido de arcilla en las diferentes zonas de estudio, al mismo tiempo que su variación está influida por la orientación de las laderas.

Se observa como sobre la estabilidad de macroagregados influye la humedad y el contenido en materia orgánica y arcilla, parámetros que se relacionan con el gradiente. Mientras que la profundidad del suelo y el contenido en macroagregados (5-2 mm), son las propiedades que más afectan a la microagregación en los suelos estudiados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Commission of the European Communities la ayuda prestada para la realización de este trabajo a través del programa Climatology and Natural Hazards (EV5V-CT91-0023).

Referencias bibliográficas

- Boix, C., Soriano, M.D., Calvo, A., Thiemessen, I & Imeson, A.C. (1994). Relaciones entre propiedades de los suelos y producción de escorrentía en un gradiente climático en la provincia de Alicante. *Cuaternario y Geomorfología*, 8 (1-2), 97-107.
- Cerdá, A. (1994). Métodos para la medición de la estabilidad de los agregados del suelo. *Cuaternario y Geomorfología*, 8 (1-2), 69-85.
- Costa, M. (1986). *La vegetación en el País Valenciano*. Servicio de Publicaciones. Universitat de Valencia. Valencia.
- Edwards, A.P & Bremner, J.M. (1964): Use of sonic vibration for separation of soil particles. *Cand. J. Soil Sci.* 44, 366.
- F.A.O. (1977): *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. Roma.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O (1988): *Soil Map of the World. 1:5.000.000*. I. Revised Legend. Roma.
- Imeson, A. & Vis, M. (1984): Asessing soil aggregate stability by ultrasonic dispersion and water-drop impact. *Geoderma*, 34, 185-200.
- Imeson, A.C. & Verstraten, J.M. (1985): The erodibility of highly calcareous soil material from Southern Spain. *Catena*, 12, 291-306.
- Imeson, A.C. & Verstraten, J.M. (1989): The microaggregation and erodibility of some semi-arid and mediterranean soils. *Catena supplement* 14, 11-24.
- Jackson, M.L. (1958): *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliff. Londres. 480 pp.
- Kaiser, H.F. (1958). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31-36.
- Lee, K. (1985): *Earthworms: their ecology and relationships with soil and land use*, 173-199. Academic Press. London.
- Ministerio de Agricultura (1986): *Metodos oficiales de análisis de suelos*. Tomo III. 178-188.
- Norusis, M. J. (1985). *SPSS advanced statistics guide*. SPSS Inc., Chicago., 126-150.
- Oades, J.M. Waters, A.G. (1991): Aggregate Hierarchy in Soils. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 815-828.
- Peech, M. (1945): Determination of exchangeable cations and exchange capacity of soils-rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer. *Soil Sci.* 59, 25-38.
- Richards, L.A. (1964): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook*, n°6. USDA.
- Rose, C.W. (1966): *Agricultural Physics*. Pergamon Press. 230 p.
- SPSS Inc. (1988). *SPSS-X User's Guide*. 3rd Edition, SPSS Inc., Chicago.
- Strickland, T.C., Sollins, P., Schimel, D.S. & Kerle, E.A. (1988): Aggregation and Aggregate Stability in Forest and Range soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 50-55.
- Varallyay, G.Y., (1990): Influence of climatic change on soil moisture regime, texture, structure and erosion. Global Soil Change Ed: Arnold, R.W.; Szabolcs, I; Targulian, V.O. *Report of an IIASA-ISSS-UNEP International Institute for Applied Systems Analysis* Laxenburg, Austria.
- Wallkey, A. & Black, I.A. (1934): An examination of the Degtjarett method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29-38.