

Suelos de áreas naturales al este de Mallorca

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

RESUMEN

Se caracterizan los suelos de distintas áreas naturales del este de Mallorca, correspondiendo a Leptosoles y Arenosoles y, en menor proporción, a Phaeozems y Cambisoles. En general se trata de suelos con escaso espesor y texturas arenosas por lo que es necesario adoptar medidas de protección encaminadas a prevenir procesos de erosión. Se aconseja realizar revegetación con especies herbáceas autóctonas y controlar el pastoreo y el uso recreativo de estas áreas.

PALABRAS CLAVE: Suelos, Mallorca, erosión, recreativo.

ABSTRACT

Soils of different natural areas from East Mallorca are Leptosols and Arenosols, and also same Phaeozems and Cambisols. Generally they are scarce thickness and sandy textures therefore moderations to prevent from erosion processes are requiered. It's convenient to have a refforestation with native vegetation and also a control on livestock and recreative activity is recommend.

KEY WORDS: Soils, Mallorca, erosion, recreative.

Aceptado: 15/V/2001.

* Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.

RÉSUMÉ

Les sols de différentes zones naturelles à l'est de Mallorca sont de types Leptosols, Arenosols mais aussi Phaeozems et Cambisols. En général, il s'agit de sols de texture sableuse et de faible épaisseur. Des mesures de protection sont donc nécessaires afin d'éviter l'érosion. Il est conseillé de semer des herbes autoctones et contrôler le pâturage et l'usage récréatif de ces zones.

MOTS CLÉS: Sols, Mallorca, érosion, récréatif.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las tareas urgentes de nuestro tiempo es la conservación de ecosistemas no degradados. Es necesaria una planificación del espacio natural en la que participen tanto los sectores públicos como privados; se trata de una planificación multidisciplinar del medio ambiente por su papel estético, cultural, educativo y de salvaguarda del legado genético vegetal y animal de la biosfera.

Hernández Bermejo y Sainz Ollero (1977) indican: «la regresión de los ecosistemas potenciales, extinción de especies, erosión del suelo, contaminación o cualquier otra merma en los recursos naturales de un país tiene siempre en su fondo unas causas parecidas inherentes a la forma de actuación del hombre y su modo de explotación de la naturaleza».

Margalef (1997), define la biocenosis como una comunidad formada por plantas y animales que se condicionan mutuamente, se mantienen en un estado estacional dinámico, en virtud de la reproducción propia, y sólo dependen del ambiente inanimado exterior a la biocenosis (o exterior al biotopo, que es el ambiente físico coexistivo con la biocenosis en cuestión), pero no, o de manera no esencial, de organismos vivos exteriores a la biocenosis (comunidad viva) y un biotopo (ambiente físico-químico específico).

El suelo forma parte de ese ambiente en el que desarrollan las comunidades vivas. Actúa como soporte, reservorio de agua y de elementos nutritivos, y, además, depende de esos organismos vivos para su formación, como interfase entre la biosfera-litosfera-hidrosfera-atmósfera; por lo que los suelos son materiales biogeoquímicos complejos. Al igual que las biocenosis, los suelos alcanzan un estado estacionario (Lavkulich, 1969), en el que la energía se aplica al sistema y las reacciones prosperan, pero las propiedades no cambian o lo hacen con una velocidad no medible. Un suelo ha alcanzado un estado estacionario cuando todas las propiedades diagnósticas lo han alcanzado.

En Mallorca son comunes los suelos poco evolucionados, en equilibrio con los factores de formación, ya que las condiciones climáticas actuales no permiten la génesis de suelos más evolucionados; se pueden citar Leptosoles,

Arenosoles, Phaeozems y Cambisoles (FAO 1998). Lo mismo sucede en zonas de ladera y de piedemonte donde los materiales se renuevan constantemente. No existe bibliografía abundante acerca de los suelos de Mallorca; no obstante, algunos autores han realizado estudios que pueden ser de gran utilidad, como los de Klinge y Mella (1958), Pomar (1975), Calvet et al (1975), Ripoll (1981), Cuerda et al (1982 y 1984), Esteban y Klappa (1983), Rita y Vallejo (1988 y 1991), Balaguer et al (1995, 1997), entre otros.

El clima de Mallorca es típicamente mediterráneo, con veranos de una aridez acusada. En lo que respecta al ombroclima oscila entre el seiárido superior o seco inferior (en la zona más meridional de la isla) al subhúmedo, o puntualmente húmedo de las áreas septentrionales. Se mantiene un ritmo de precipitaciones gimnástico (otoño>invierno>primavera>verano), sin que la altitud de las montañas haga variar el ritmo, sino que sólo influyen en un incremento de la precipitación. El termoclima mallorquín es, en su mayor parte, termomediterráneo, con excepción de las áreas montañosas con elevaciones superiores a los 500 m, donde es mesomediterráneo.

Según los datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional relativos a las estaciones de Manacor Perlas y Manacor Parque, que contaban con datos de pluviosidad en un periodo de 31 años y de temperatura a lo largo de 20 años, y con el trabajo realizado por Guijarro (1986) se puede afirmar que la zona de estudio varía de un clima mediterráneo subtropical más al norte a marítimo hacia el sur, con un régimen de humedad mediterráneo seco y un régimen térmico subtropical semicálido.

En el presente trabajo se caracterizan suelos de distintas áreas naturales de especial interés y alto nivel de protección, determinadas por ley 1/91/30, Ley de Protección de Áreas Naturales (1991). Las áreas de este estudio están recogidas en AA.NN.EE. II (Áreas Naturales de Especial Interés): Montañas de Artá, Cala Agulla, Calicant, San Salvador, Cap de ses Salines y Es Trenc, situadas al este de la isla de Mallorca. Estas áreas vienen representadas en el mapa 1/130.000 publicado por el Govern Balear (Conselleria de Medi Ambient, Ordenació del Territori i Litoral) en abril de 1997.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los suelos se desarrollan a partir de diferentes materiales carbonatados y bajo vegetación natural; entendiéndose por ello, no modificada por prácticas agrícolas, con el fin de que esta caracterización se aproxime o recoja suelos de dichas áreas no modificados por el hombre, asumiendo el papel de suelos testigos.

Se han estudiado trece suelos representativos de diferentes áreas, distribuidos de la siguiente forma (Tabla 1):

Tabla 1
DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN LAS DISTINTAS ÁREAS

Áreas	Suelos (Perfiles)
Montañas de Artá	1, 2, 3
Cala Agulla	28
Calicant	5
Sant Salvador	24, 25, 26, 27
Cap de ses Salines	18
Es Trenc	20, 21, 22

PERFIL 1:

Localidad: Término municipal de Artà. Situación: Barranc de Sa Canova. Altitud: 65 m. Orientación: Oeste. Pendiente: Suavemente inclinado. Posición fisiográfica: Fondo de valle. Vegetación: *Chamaerops humilis*, *Pistacea lentiscus*, *Olea europea* var. *Sylvestris*, *Ampelodesmos mauritanicus*, *Rubia pergrina*, *Smilax aspera*. Material original: caliza margosa. Condiciones de drenaje: bien drenado. Pedregosidad: moderadamente pedregoso. Afloramientos rocosos: moderadamente rocoso. Salinidad: libre de sales.

PERFIL 2:

Localidad: Término municipal de Artà. Situación: Barranco de Sa Canova. Altitud: 70 m. Orientación: Oeste. Pendiente: Moderadamente escarpado. Posición fisiográfica: Pendiente convexa. Vegetación: *Pistacea lentiscus*, *Olea europea* var. *Sylvestris*, *Arbutus unedo*, *Erica multiflora*. Material original: Calcarenita (marés). Condiciones de drenaje: Algo excesivamente drenado. Pedregosidad: Muy pedregoso. Afloramientos rocosos: Ninguno. Salinidad: Libre de sales.

PERFIL 3:

Localidad: Término municipal de Artà. Situación: Barranco de Sa Canova. Altitud: 74 m. Orientación: Oeste. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Planicie. Vegetación: *Erica multiflora*, *Pistacea lentiscus*, *Dittrichia viscosa*, *Olea europea* var. *Sylvestris*. Material original: Calcarenita (marés). Condiciones de drenaje: Bien drenado. Pedregosidad: Pedregoso. Afloramientos rocosos: Moderadamente rocoso. Salinidad: Libre de sales. Actividad biológica: Canales de edafofauna.

PERFIL 28:

Localidad: Cala Rajada (Término municipal de Capdepera). Situación: Carretera Capdepera a Cala Agulla. Altitud: 25 m. Orientación: Norte. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Duna secundaria. Vegetación: *Pinus halepensis*, *Juni-*

perus phoenicea, *Smilax aspera*, *Asparagus acutifolius*, *Chamaerops humilis*. Material original: Arena. Condiciones de drenaje: Ecesivamente drenado. Pedregosidad: Sin piedras. Afloramientos rocosos: Ninguno. Salinidad: Libre de sales.

PERFIL 5:

Localidad: Término municipal de Artà. Situación: Ctra. 715 km 61,500 junto al Puig de s Tresor. Altitud: 192 m. Orientación: Sur-sureste. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Pie de monte. Vegetación: *Pinus halepensis*, *Rosmarinus officinalis*, *Ampelodesmos mauritanicus*, *Erica multiflora*. Material original: Dolomía calcítica. Condiciones de drenaje: Algo excesivamente drenado. Pedregosidad: Excesivamente pedregoso. Afloramientos rocosos: Muy rocoso. Salinidad: Libre de sales. Influencia humana: Incendio en el verano de 1974.

PERFIL 24:

Localidad: Término municipal de Felanitx. Situación: Puig de Sant Salvador. Altitud: 510 m. Orientación: Oeste. Pendiente: Suavemente inclinado. Posición fisiográfica: Cumbre. Vegetación: *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europea* var. *Silvestris*, *Brachipodium* sp., *Smilax aspera*, *Erica multiflora*. Material original: Marca calcárea. Condiciones de drenaje: Bien drenado. Pedregosidad: Moderadamente pedregoso. Afloramientos rocosos: Rocoso. Salinidad: Libre de sales. Influencia humana: Zona de recreo.

PERFIL 25:

Localidad: Término municipal de Felanitx. Situación: Puig de Sant Salvador. Altitud: 380 m. Orientación: Sur. Pendiente: Moderadamente escarpado. Posición fisiográfica: Ladera. Vegetación: *Cistus monspeliensis*, *Cistus multiflorus*, *Pinus halepensis*, *Olea europea* var. *Sylvestris*, *Asparagus acutifolius*, *Ampelodesmos mauritanica*. Material original: Caliza domítica. Condiciones de drenaje: Algo excesivamente drenado. Pedregosidad: Pedregoso. Afloramientos rocosos: Moderadamente rocoso. Salinidad: Libre de sales.

PERFIL 26:

Localidad: Término municipal de Felanitx. Situación: Puig de Sant Salvador. Altitud: 250 m. Orientación: Suroeste. Pendiente: Inclinado. Posición fisiográfica: Ladera. Vegetación: *Cistus monspeliensis*, *Cistus multiflorus*, *Pinus halepensis*, *Olea europea* var. *Sylvestris*, *Asparagus acutifolius*, *Ampelodesmos mauritanica*. Material original: Caliza margosa. Condiciones de drenaje: Algo excesivamente drenado. Pedregosidad: Pedregosos. Afloramientos rocosos: Moderadamente rocoso. Salinidad: Libre de sales.

PERFIL 27:

Localidad: Término municipal de Felanitx. Situación: Puig de Sant Salvador. Altitud: 220 m. Orientación: Oeste. Pendiente: Escarpado. Posición fisiográfica: Ladera. Vegetación: *Cistus monspeliensis*, *Cistus multiflorus*, *Pinus halepensis*, *Olea europea* var. *Sylvestris*, *Asparagus acutifolius*, *Ampelodesmos mauritanica*. Material original: Caliza. Condiciones de drenaje: Excesivamente drenado. Pedregosidad: Pedregoso. Afloramientos rocosos: Moderadamente rocoso. Salinidad: Libre de sales. Influencia biológica: Presencia de micelios.

PERFIL 18:

Localidad: Término municipal de Ses Salines de Llevant. Situación: Km 3 ctra. Colonia de Sant Jordi-Ses Salines. Altitud: 23 m. Orientación: Noroeste. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Planicie. Vegetación: *Pinus halepensis*, *Pistacea lentiscus*, *Thymus* sp, *Rosmarinus officinalis*, *Genista lucida*. Material original: Marés. Condiciones de drenaje: Algo excesivamente drenado. Pedregosidad: Sin piedras. Afloramientos rocosos: Ninguno. Salinidad: Libre de sales.

PERFIL 20:

Localidad: Término Municipal de Campos. Situación: Playa de Es Trenc. Altitud: Nivel del mar. Orientación: Sur. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Duna sedimentaria. Vegetación: *Cypero Kali-Agropyretum juncei*. Material original: Arena eólica. Condiciones de drenaje: Excesivamente drenado. Pedregosidad: Sin piedras. Afloramientos rocosos: Ninguno. Salinidad: Libre de sales. Influencia humana: Zona de recreo.

PERFIL 21:

Localidad: Término municipal de Campos. Situación: Playa de Es Trenc. Altitud: Nivel del mar. Orientación: Sur. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Duna sedimentaria. Vegetación: *Clematido balearcae-Juniperetum turbinatae*. Material original: Arena eólica. Condiciones de drenaje: Algo excesivamente drenado. Pedregosidad: Sin piedras. Afloramientos rocosos: Ninguno. Salinidad: Libre de sales. Influencia humana: Zona de recreo.

PERFIL 22:

Localidad: Término municipal de Campos. Situación: Playa de Es Trenc. Altitud: Nivel del mar. Orientación: Oeste. Pendiente: Llano. Posición fisiográfica: Duna sedimentaria. Vegetación: *Clematido balearcae-Juniperetum turbinatae*. Material original: Arena eólica. Condiciones de drenaje: Algo ex-

cesivamente drenado. Pedregosidad: Sin piedras. Afloramientos rocosos: Ninguno. Salinidad: Libre de sales. Influencia humana: Recreo.

La apertura de los perfiles de suelo se ha realizado siguiendo la metodología propuesta por la FAO (1977). Se han realizado las siguientes determinaciones en la fracción tierra fina (I.S.R.I.C. 1993): nitrógeno total (según el método Kjeldahl), granulometría (método internacional de la pipeta), carbono orgánico y materia orgánica total (por el método propuesto por Walkley & Black), pH en agua y en KCl 1M (en una proporción suelo-agua 1:2,5), la capacidad de intercambio catiónico por el método del acetato amónico, las bases de cambio Na^+ y K^+ se determinaron por fotometría de llama (Sherwood 410) y Ca^{2+} y Mg^{2+} se miden usando espectrometría de absorción atómica (Perkin-Elmer 300). La obtención de la fracción arcilla se llevó a cabo a partir del procedimiento propuesto por Kittrick & Hope (1963), saturándose con Mg y K. La identificación mineralógica se ha realizado por difracción de rayos x siguiendo las indicaciones de Brown (1972), Brindley y Brown (1980) y Nemezc (1981), entre otros, con un difractor Philips, modelo 1710, radiación k de Cu, provisto de goniómetro vertical, panel electrónico de registro, macrocromador de grafito y contador proporcional. El contenido en óxido de hierro total se obtuvo mediante ataque químico con perclórico y fluorhídrico en reactor phaxe 2000 y posterior determinación por espectrofotometría de absorción atómica. El óxido de hierro libre, se extrajo con reactivo de Tamm según Duchaufour y Souchier (1966), y las formas amorfas y cristalinas según el método propuesto por Segalem (1968). Los suelos son posteriormente clasificados según F.A.O. (1998).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La génesis y desarrollo de los suelos estudiados están condicionados por diferentes factores: el material de partida, la vegetación, el clima, la topografía local, el tiempo transcurrido y la influencia de los seres vivos. Todos estos factores en mayor o menor medida colaboran en la formación del perfil. Es el equilibrio entre todos los factores, o el predominio de uno de ellos sobre los demás (por ejemplo la marcada topografía de los perfiles 2 y 25), lo que condiciona la evolución y desarrollo de los diferentes perfiles. Es por eso por lo que se estudian los suelos no bajo el punto de vista de uno sólo de ellos, pues el suelo se desarrolla como resultado de un entramado de relaciones más o menos sencillas (o complicadas) entre los diferentes factores.

El material de partida es, en nuestro caso, calcáreo encontrándonos desde arenas de origen eólico (perfiles 20, 21, 22, 28), marés o calcarenita (perfiles 2, 3, 18), margas (perfil 24), calizas margosas (perfiles 1, 26), calizas (perfil 27), calizas dolomíticas (perfil 25), y dolomías calcíticas (perfil 5). La dife-

rente consistencia del material marcará el diferente grado de desarrollo de nuestros suelos. Así, se observa que, debido a la dureza del material, las calizas y dolomías se alteran más lentamente, lo que unido al bajo contenido en elementos no carbonatados no favorece el desarrollo de suelos profundos. Se produce sobre estos materiales una alteración lenta de la roca carbonatada, que origina la liberación del residuo silicatado y del carbonato cálcico y/o magnésico, solubilizándose total o parcialmente, y en función del resto de factores (la topografía, por ejemplo) puede moverse en el perfil o bien desplazarse de modo lateral, quedando un residuo silicatado (en forma de arcilla) que formará con la materia orgánica y los cationes complejos organominerales, complejos arcilla-cación-humus estables.

Tabla 2
pH, CONTENIDO EN CARBONATOS Y COMPLEJO DE CAMBIO

Denominación Área	N.º Suelo	Horizonte	CaCO ₃ equiv. %	CaCO ₃ act. %	pH	S	CIC	V	
Montañas de Artá	1	Ah ₁	34,33	7,62	7,6	59,42	30,88	S	
		Ah ₂	32,22	5,75	7,6	53,02	26,37	S	
		Bw	46,86	9,43	7,6	57,69	20,59	S	
		BC	73,34	14,77	7,8	53,22	15,68	S	
	2	Ah ₁	68,95	9,62	7,7	58,63	25,58	S	
		Ah ₂	66,78	10,62	7,7	65,62	22,57	S	
	3	Ah	10,33	5,33	7,7	53,84	35,04	S	
Cala Agulla	28	Ah	77,67	7,25	7,1	61,03	7,9	S	
		AC	87,88	9,25	7,1	92,94	8,23	S	
Calicant	5	Ah	74,29	0,44	7,1	17,59	18,65	94,3	
Sant Salvador	24	Ah	TRAZAS	—	7,6	58,66	81,23	72,21	
	25	Ah ₁	30,14	8,94	7,3	81,06	52,66	S	
		Ah ₂	48,75	14,44	7,4	69,18	34,73	S	
	26	Ah	40,44	10,50	7,9	97,23	66,25	S	
		2Ah	50,30	12,0	8,0	84,24	57,42	S	
	27	Ah ₁	33,56	7,31	8,1	75,14	61,62	S	
		2BwC	47,74	12,88	8,2	90,49	45,94	S	
	18	Ah	75,28	4,62	7,3	59,38	27,68	S	
	Es Trenc	20	AC	91,92	4,43	9,0	32,55	3,57	S
		21	AH	83,19	4,13	7,2	40,47	22,32	S
AC			88,08	3,25	7,0	32,90	8,44	S	
22		Ah	83,01	3,19	8,0	45,98	19,48	S	
	AC	89,62	5,06	8,9	37,28	10,38	S		

Cuando encontramos materiales más blandos, por lo tanto más fácilmente alterables, como las margas, es posible que se formen suelos más profundos, pero a pesar de todo, suelen ser suelos poco evolucionados debido fundamentalmente a la gran cantidad de CaCO_3 presente, que actúa de freno frente a los procesos de alteración por la estabilización de los compuestos húmicos que están así protegidos contra la biodegradación. Dentro del material de partida hay que hacer una mención especial a las arenas de origen eólico, que han dado lugar en todos los casos a arenosoles.

La presencia del CaCO_3 en cantidades elevadas (Tabla 2) condiciona en mayor medida la velocidad de reacción y los procesos de alteración química, así el pH básico, el alto contenido en carbonatos, las condiciones de humedad y temperatura poco propicias provocan la ralentización de la mayor parte de las reacciones que marcan la evolución y desarrollo de los suelos.

Es la capacidad de reacción de la fase carbonatada la propiedad que más influye en el desarrollo de los mismos, pues determina la cinética de disolución y cesión del calcio, así como las reacciones de adsorción del CaCO_3 (Inskeep et al. 1987, Loeppert et al. 1988, Doner et al. 1989).

El que no coincidan la estación con mayores precipitaciones (otoño) con la estación más cálida provoca la lentitud del proceso, sin embargo ese contraste estacional influye en el desarrollo de otros procesos donde esa alternancia de estaciones es fundamental para que puedan desarrollarse, como la formación de complejos arcilla-calcio-humus, la maduración del humus y la hidratación/deshidratación de los óxidos de hierro.

La vegetación que presentan estos suelos es diferente tanto en densidad como en especies. Donde la vegetación es más densa, el clima más favorable y el material original más fácilmente alterable se favorecerá que los suelos sean más profundos y mejor desarrollados (perfil 1). La respiración radicular y el intercambio iónico son otros factores a tener en cuenta, pues se crea un entorno que favorece la disolución de la caliza, y con ello la migración de ésta. Además la vegetación actúa como freno de los agentes erosivos no sólo por el sistema radicular, que favorece la formación de agregados y estructura el suelo, sino también por el sistema aéreo, que protege al suelo de agresiones externas. Elwell y Stocking (1976) demostraron que un aumento de cobertura vegetal reduce exponencialmente la erosión, posteriormente, Thornes (1987) encontró un punto de equilibrio inestable al 30% de cobertura vegetal en su modelo competitivo de planta-erosión. González-Hidalgo et al. (1997) afirman que incrementando la cubierta vegetal, hay un descenso general de la erosión, y que la arquitectura de la planta, y las asociaciones de éstas pueden ser factores relevantes en el estudio de las pautas de la erosión.

La topografía es en muchos casos un factor determinante en la evolución y desarrollo del suelo. Actúa junto a otros factores de manera interdependiente.

Un claro ejemplo de ello es cómo la topografía influye a través de la orientación, la pendiente, la altitud, que, afectarán al contenido de humedad, las condiciones de drenaje, exposición solar y viento, incluso el material original se ve influido por la topografía, de manera que los fragmentos rocosos son menores a medida que nos alejamos de las cimas, así en las laderas y piedemontes los fragmentos son más gruesos y a medida que nos alejamos y nos centramos en los valles los fragmentos son más pequeños. El perfil 2, en el que la pendiente es considerable, sufre un continuo rejuvenecimiento a causa del aporte constante de material. También el grado de descarbonatación y recarbonatación están influidos en gran medida por la topografía, así los suelos de cima (24), el grado de descarbonatación es máximo, mientras que en las laderas y fondos de valle se producen procesos de recarbonatación.

La acción antrópica merece un tratamiento aparte, pues modifica la evolución que el suelo seguiría en condiciones normales. De hecho hay que recordar que los primeros asentamientos humanos de los que se tiene constancia en Mallorca se remontan a la prehistoria y poco a poco el hombre ha ido modificando el paisaje y adaptándolo a sus necesidades, dejando que la vegetación natural se desarrollase en tierras de difícil acceso o bien en zonas en las que la fertilidad del terreno no permitía el cultivo. Así nos encontramos que en casi todos los municipios estudiados las tierras de cultivos superan considerablemente a los terrenos en los que se ha desarrollado la vegetación natural, salvo en Artà que su orografía ha impedido que fuese más cultivado. Esta vegetación natural no se ha visto completamente libre de la acción antrópica pues ha sido sometida a talas, cortas y aclarados, y en la actualidad estas zonas están siendo dedicadas a cotos de caza y/o se ven sometidas de modo indirecto a la acción del hombre pues son utilizadas por el ganado durante los meses en que escasean los pastos. Algunos autores (Roselló, 1964) minimizan la acción antrópica en Mallorca.

En cuanto a los procesos que tienen lugar en los suelos de estas áreas, los principales son: Humificación y mineralización de la materia orgánica y lavado y acumulación de carbonatos.

El proceso de evolución del humus en nuestros suelos se ve afectado por la presencia de grandes cantidades de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} que provocan una rápida insolubilización de los precursores húmicos y la unión de dichos precursores a la superficie de las arcillas saturadas en dichos cationes. Es decir, actúan sobre los precursores, principalmente los que no se mineralizan a medida que se producen, pero no actúan sobre la polimerización de los núcleos; así se bloquea la mineralización de los ácidos fúlvicos que, a pesar de ser biodegradables, son precipitados e insolubilizados.

Los medios con caliza activa, estructura muy estable y exentos de lavado, dependen de los equilibrios $\text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2 - \text{H}_2\text{CO}_3$. Las películas de

CaCO₃ precipitado inmovilizan y protegen frente a la biodegradación no sólo a las huminas microbianas y a los agregados de mayor dimensión y muy estables sino también a las partículas de materia orgánica fresca y humina heredada. La maduración del humus está muy ligada a la actividad biológica, la composición del medio y el clima del área. En suelos como los nuestros, con alta actividad biológica, que presentan buenas condiciones de aireación y humedad, la biodegradación de la materia orgánica está impedida debido a la estabilización que sufre en ambiente carbonatado con una estación seca (Duchaufour, 1987).

El lavado y la acumulación de carbonatos son, junto con la humificación, los principales procesos de edafogénesis en nuestros suelos. Consiste en la disolución del CaCO₃ a través de la reacción: $\text{CaCO}_3 \Leftrightarrow \text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ que en función de la humedad del suelo y la presión parcial de CO₂ tanto de la atmósfera terrestre como la del suelo, disuelven el CaCO₃ que puede movilizarse en el perfil, provocando la acumulación y fenómenos de neoformación de CaCO₃, que no se aprecian en nuestro caso debido a posiciones de pendiente o a la naturaleza filtrante del material de partida; o bien puede producirse un lavado lateral que provocará la descarbonatación total o parcial del perfil. El contenido final de CaCO₃ dependerá no sólo de las pérdidas que se produzcan por disolución sino también de los aportes externos.

En general los suelos de las distintas áreas presentan escasa diferenciación de horizontes, predominando los horizontes A y pocos horizontes B. La escasa evolución es debida a factores fundamentalmente bioclimáticos incapaces de llegar a provocar la descarbonatación total e incluso a producir fenómenos de empardecimiento con formación de horizontes B cámbicos salvo en contadas ocasiones (perfiles 1, 27).

También deberían aparecer horizontes Bt antiguos, formados en condiciones edafogenéticas diferentes a las actuales, de HUEs muy rojos y totalmente descarbonatados pero existen fenómenos de edafogénesis actual con recarbonatación secundaria, edificándose horizontes A a partir de los antiguos Bt (perfil 3), y como los factores bioclimáticos impiden el proceso de empardecimiento, no evolucionan, permaneciendo como horizontes Ah.

Los horizontes de diagnóstico son generalmente epipedones ócricos, debido a que no cumplen las condiciones de espesor, salvo en los leptosoles réndicos (perfil 18) y los phaeozems (perfiles 25, 26 y 27). Aparecen muy pocos horizontes de diagnóstico subsuperficiales, solamente B cámbicos en los Cambisoles (perfil 1).

Los valores básicos del pH se deben fundamentalmente al sistema carbónico-carbonato. Los pH son del orden de 7 y 8. En los arenosoles (perfiles 20 y 22) aparecen pH ligeramente alcalinos (próximos a 9); estos valores altos de pH pueden deberse a la presencia de MgCO₃. Stevens (1948) habla del pH de

Tabla 3
TEXTURA, MATERIA ORGÁNICA Y CONTENIDO EN NITRÓGENO TOTAL

Denominación Área	N.º Suelo	Horizonte	Espesor (cm)	Clase Textual	C.O %	M.O %	N %	C/N
Montañas de Artá	1	Ah ₁	25	FR	4,62	7,94	0,37	14,28
		Ah ₂	15	FR-ARC-ARE	2,77	4,76	0,30	9,55
		Bw	30	FR-ARC-ARE	0,69	1,19	0,23	3,04
		BC	35	FR-ARE	0,39	0,67	0,08	4,76
	2	Ah ₁	10	ARE-FR	7,23	14,46	0,40	18,07
		Ah ₂	100	ARE-FR	5,50	11,00	0,37	14,53
3	Ah	10	ARC-ARE	8,05	16,10	0,47	17,12	
Cala Agulla	28	Ah	30	ARE	1,74	3,48	0,12	14,50
		AC	85	ARE	1,65	3,30	0,06	24,26
Calicant	5	Ah	25	FR-ARE	6,52	13,04	0,55	11,85
Sant Salvador	24	Ah	9	FR-ARC-ARE	10,74	21,48	1,08	9,94
	25	Ah ₁	50	FR	4,75	9,50	0,31	15,32
		Ah ₂	40	FR	2,49	4,98	0,24	10,37
	26	Ah	25	FR-ARE	3,05	6,10	0,34	8,97
		2Ah	20	FR	2,33	4,66	0,24	9,70
	27	Ah ₁	30	FR-ARC-ARE	2,47	4,94	0,17	14,50
		2BwC	50	ARC	0,83	1,66	0,08	10,35
18	Ah	25	ARE	4,13	8,26	0,25	16,52	
Es Trenc	20	AC	110	ARE	0,30	0,60	0,02	15,00
	21	AH	10	ARE	2,89	5,78	0,15	19,26
		AC	110	ARE	1,32	2,64	0,08	16,50
	22	Ah	10	ARE	4,21	8,42	0,27	15,59
AC		105	ARE	1,22	2,44	0,05	24,40	

abrasión que es el que se alcanza en el agua al incorporarse un mineral pulverizado, resulta ser característico para cada mineral; el pH de abrasión para la calcita es de 8 y para la dolomita 9-10.

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (Tabla 2), la mayoría de estos suelos presentan un grado de saturación por encima del 50%, como corresponde a suelos de las regiones carbonatadas, encontrándose muchos de ellos completamente saturados en bases.

Las texturas (Tabla 3) varían de arcillosas a arenosas, siendo más abundantes las franco-arcillo-arenosas, franco-arenosas y franco-arcillosas. Los análisis texturales nos muestran la importancia de las fracciones más gruesas y el menor peso específico de la fracción limo, la poca evolución de los perfiles y la juven-

tud de los mismos, ya que la fracción arcilla es fundamentalmente heredada del material de partida siendo escasa la que proviene del paso limo→arcilla.

Siempre es difícil establecer la génesis de los minerales de arcilla teniendo en cuenta el origen de los suelos formados a partir de materiales sedimentarios afectados por diferentes procesos, como por ejemplo el de arrastre, existiendo, por tanto, la posibilidad de diferentes etapas edáficas. En general todos los suelos presentan un claro predominio de illita y caolinita (Tabla 4), heredadas del material de partida por disolución de los carbonatos. La caolinita no sufre cambios importantes debido a su gran estabilidad química y a las condiciones edafoclimáticas poco propicias para la alteración (clima templado, saturación total de bases de cambio, falta de coincidencia de las estaciones húmeda y cálida, etc.).

Aunque algunos autores (Nettelton et al., 1968, 1973, Allen and Jacob, 1983) apuntan la posibilidad de formación de illita a partir de esmectitas en suelos de regiones áridas y semiáridas, en los nuestros debe ser considerada fundamentalmente de herencia, debido al origen carbonatado y a la ausencia o escasez de esmectitas en los materiales de partida.

En los suelos de pH básico no se tienen muchas referencias sobre la formación de entrecapas de hiróxido, pero se presume que el componente principal es el $Mg(OH)_2$ (Besoain, 1985). La abundancia de magnesio y el pH básico de los suelos posibilita la formación de clorita a partir de otros minerales de 1,4 nm, por intercalación de brucita entre los paquetes de tipo 2:1, como se ha observado en sierras de la región de Murcia (Alfías et al., 1995).

Es muy difícil determinar el origen de las esmectitas que aparecen, y saber si proceden de la transformación de la illita o, son, por el contrario, heredadas de otros materiales geológicos, aunque parece más probable lo primero dadas las condiciones ambientales que caracterizan la zona. Sin embargo existe la posibilidad de que las sales de calcio y magnesio presentes, actúen provocando la eliminación progresiva y parcial de los iones K^+ de las illitas, produciéndose la formación de esmectitas, si bien este proceso está muy limitado en estos suelos dada la escasa presencia de esmectita detectada (probablemente por la escasa cantidad de sílice soluble). Los silicatos no laminares (cuarzo, feldspatos) son heredados del material de partida.

En Mallorca dominan los HUEs pardos (10YR en los perfiles 2, 5, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 27). También tienen importancia los rojizos (7,5 YR en los perfiles 1, 26, 3, 8, 9, 17).

Las relaciones Fe_2O_3L/Fe_2O_3T (caso aparte son los arenosoles por el poco o nulo contenido en hierro libre) raramente exceden el 60% (Tabla 5), dato que nos indica la juventud de estos perfiles en los que la «rubefacción» es muy rápida y se produce incluso sin la descarbonatación total de los suelos. El color rojo suelos se debe principalmente a la presencia de partículas muy pequeñas

Tabla 4
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS

Denominación Área	N.º Suelo	Horizonte	M-I	COAL	VERM.	CLOR.	ESMECT.	CLOR.-VERM.	CUARZO	CALC.	DOL.	FELD.
Montañas de Artá	1	Ah ₁	+++	++						t		
		Ah ₂	+++	++	t				++	t		
		Bw	+++	++	t				++	t		
		BC	+++	t	t				++	+++		
		Ah ₁	+	t	t				++	+++		
Cala Agulla	2	Ah ₂	+++	+		+			+			
		Ah	+++	+	t				t			
		Ah	+	t				t	++	+++	+++	
Callicant	28	AC	+		t				+	+++	+++	+++
		Ah	++	+					+			
Sant Salvador	24	Ah	++++	++		+	++		++			
		Ah ₁	++++	++	+	+			++++	+		
		Ah ₂	+++	++	+				++++			
		Ah	+++	++		+			++++		++	
		2Ah	+++		++	+			++++		+++	
Cap de ses Salines	18	Ah	+++	++					++		++	
		AC	++++	++++	+++					+++		++++
Es Trenc	20	AH	++++	+++	t				+++	+++	+++	++
		AC	++	+		+			++++	+++	++	+
		Ah	++++	++++	+++				++++	+++	+++	+++
Es Trenc	22	AC	++++	+++	t				++	+++		+++
		AC	++++	+++					++	+++		+++

M-I: micas-ilita
 CLOR: clorita
 DOL: dolomita
 COAL: caolinita
 ESMECT: esmectita
 FELD: feldspato
 VERM: vermiculita
 CALC: calcita

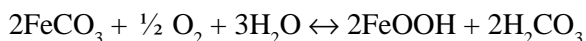
++++: muy abundante (60%)
 +++: abundante (30-60%)
 ++: escaso (15-30%)
 +: muy escaso (5-15%)
 t: trazas (<5%)

de hematites (Schwertmann y Lentze, 1966; Darvey et al., 1975; Lamoroux et al. 1977; Bigham et al, 1978 a, b), mientras que los tonos ocres vienen determinados por la presencia de goethita (Schwertmann y Lentze, 1966). El color rojo predomina en los suelos incluso cuando el contenido en hematites es más bajo que el de goethita (Schwertmann, 1985). Torrent et al. (1983) encontraron un alto grado de correlación entre el contenido en hematites y el grado de enrojecimiento en suelos de Europa y Brasil. Sin embargo, Mirabella y Carnicelli (1992) hallan que el grado de enrojecimiento es solamente útil como una aproximación estimada del contenido de este mineral en el suelo.

Las condiciones ambientales y el material de partida influyen en los grados de alteración de los minerales que contienen hierro y las proporciones de óxidos de hierro secundarios formados. En edafoclimas más secos y caliente con un bajo contenido en materia orgánica y pH ligeramente alcalino, la formación de hematites es favorecida sobre la de goethita, a la inversa sucede en edafoclimas más fríos y húmedos (Schwertmann, 1985, 1988). En nuestro caso los contenidos en materia orgánica son relativamente importantes, por lo que se supone que en nuestros suelos existe una mayor formación de goethita que de hematites.

Un incremento de hierro liberado favorece la precipitación de ferrihidrita, precursor necesario de hematites, lo que se confirma si no totalmente, sí en forma aproximada, existiendo una relación clara entre los mayores contenidos en hierro libre y los HUEs más rojos (perfil 3).

La cantidad de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{L}$ (Tabla 5), teniendo en cuenta el ambiente carbonatado y las condiciones de humedad y temperatura, denota un principio de alteración. El hierro proviene fundamentalmente de los carbonatos que lo contienen y se libera en forma de Fe^{2+} . El FeCO_3 puede controlar la solubilidad del Fe^{2+} en el suelo dependiendo de la presión parcial de CO_2 y de las condiciones redox (Lindsay 1979). La disolución de siderita y su oxidación a goethita puede ser expresada de la siguiente forma:



La goethita es común en suelos de la zona templada. En áreas más cálidas se encuentra frecuentemente asociada con hematites, asociación muy común en suelos de clima cálido y en las áreas más calientes de las zonas templadas (Schwertmann et al., 1982). No cabe la menor duda que factores como el pH, Eh, humedad, temperatura, materia orgánica, etc., influyen en la formación de uno u otro de estos compuestos de hierro.

En nuestro caso los iones Fe^{3+} provienen de la oxidación de los iones Fe^{2+} contenidos en los materiales carbonatados de partida. La siderita se presenta en ciertas calizas que han sido más o menos sideritizadas, por un proceso análogo al de la dolomitización (Pettijohn, 1970). A partir de este momento la

Tabla 5
CONTENIDO EN ÓXIDO DE HIERRO

Denominación Área	N.º Suelo	Horizonte	Fe ₂ O ₃ T %	Fe ₂ O ₃ L %	Fe ₂ O ₃ am. %	Fe ₂ O ₃ crist. %	Fe ₂ O ₃ L/Fe ₂ O ₃ T
Montañas de Artá	1	Ah ₁	2,24	1,58	0,90	0,68	70,54
		Ah ₂	2,90	1,26	0,94	0,32	43,45
		Bw	1,20	0,83	0,83	—	69,17
		BC	1,20	1,01	0,77	0,24	84,17
	2	Ah ₁	1,10	0,90	0,42	0,48	81,81
		Ah ₂	1,10	1,00	0,42	0,58	90,90
3	Ah	3,70	2,70	1,89	0,81	72,97	
Cala Agulla	28	Ah	0,20	0,1	—	—	—
		AC	0,18	—	—	—	—
Calicant	5	Ah	1,55	0,27	—	0,27	17,42
Sant Salvador	24	Ah	5,29	1,40	0,49	0,91	26,47
	25	Ah ₁	3,82	1,08	0,28	0,80	28
		Ah ₂	3,67	0,97	0,29	0,68	26
	26	Ah	4,27	0,85	0,25	0,60	20
		2Ah	3,09	0,74	0,16	0,58	24
	27	Ah ₁	2,15	1,11	0,28	0,83	52
		2BwC	3,53	1,05	0,42	0,63	30
18	Ah	0,73	0,12	—	0,12	16,44	
Es Trenc	20	AC	0,25	—	—	—	—
	21	AH	0,33	—	—	—	—
		AC	0,29	—	—	—	—
	22	Ah	0,43	—	—	—	—
AC		0,22	—	—	—	—	

Fe₂O₃ T: óxido de hierro total.
 Fe₂O₃ L: óxido de hierro libre.
 Fe₂O₃ am.: óxido de hierro amorfo.
 Fe₂O₃ crist.: óxido de hierro cristalino.

formación de goethita y hematites, se puede hacer vía ferrhidrita: por hidrólisis de cationes Fe³⁺, a pH mayor que 3 daría Fe(OH)₂⁺ a partir del cual se formaría goethita por nucleación; esto sucedería en periodos húmedos, cuando es imposible la deshidratación de ferrhidrita. En verano se formarían hematites a partir de la ferrhidrita por deshidratación (Schwertmann y Taylor, 1989). La presencia de compuestos de hierro denominados amorfos indica que, al menos una parte del hierro liberado por alteración, se encuentra en una forma criptocristalina o pobremente cristalizada.

4. CONCLUSIONES

Todos los suelos se encuentran en equilibrio dinámico con los factores formadores: clima mediterráneo subtropical y marítimo, vegetación perteneciente a las series climatófilas y edafoixerófilas correspondientes, material de partida de naturaleza carbonatada, relieve marcado, sufriendo en ocasiones la acción antrópica más o menos prolongada. Su evolución es mayoritariamente monogenética.

En general, los suelos presentan escasa evolución, puesta de manifiesto por: perfil poco diferenciado, predominando los horizontes organominerales que descansan directamente sobre el material original; moderada liberación de hierro siendo las relaciones Fe_2O_3L/Fe_2O_3T en torno al 60%; descarbonatación incompleta; humus poco evolucionados; escasa formación de arcilla y predominio de los procesos de herencia.

Los suelos representativos de cada área son:

Artá: Cambisol calcárico (1), Arenosol calcárico (2) y Leptosol lítico (3).

Cala Agulla: Arenosol calcárico (28).

Calicant: Leptosol eútrico (5).

Sant Salvador: Leptosol eútrico (24), Phaeozem calcárico (25, 26 y 27).

Cap de ses Salines: Leptosol réndrico (18).

Es Trenc: Arenosol calcárico (20, 21 y 22).

Todas estas áreas corresponden a zonas de alto nivel de protección debido bien al tipo de vegetación potencial (principalmente encinares) o bien a la presencia de dunas de origen eólico. Estos encinares aparecen frecuentemente asociados a pinares, acebuches y a matorrales seriales que, en ocasiones, constituyen distintas etapas regresivas del bosque climácico, y en otros casos constituyen la vegetación climax. Puesto que los suelos que dominan son mayoritariamente Leptosoles y Arenosoles, y, en menor proporción, Phaeozems y Cambisoles; es necesario adoptar medidas de protección de suelos adecuadas, encaminadas a prevenir procesos de erosión, dada la fragilidad de los mismos, por el escaso espesor o por texturas arenosas que no favorecen el desarrollo de la estructura. Estas medidas consisten en realizar un plan de revegetación, siempre que sea posible con la flora autóctona, teniendo en cuenta la sucesión vegetal que se instalará de forma natural. Al mismo tiempo se debe controlar el pastoreo y el uso recreativo de estas áreas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ALIAS, L. J. y SÁNCHEZ, A. (1995): *Evolución de los minerales de la arcilla en los suelos de la Sierra de Mojantes* (Caravaca, Murcia). Edafología I: 1-8.
- ALLEN, B. L. J. y JACOB, J. S. (1983): *Alteration of Zeolite tuffs during pedogenesis in southeast Texas*. USA. Nahon and Noak (Ed.) Petrologie de alterations des soils. Institute of Geologie, Université de Louis Pasteur de Strasbourg, France. *Memorie* 73, III: 7-17.
- BALAGUER, J., HERNANDO, J. y DE LA CRUZ, M. T. (1995): *Caracterización de suelos del noreste de Mallorca*. En: Degradación y Conservación de suelos. Ed. Dpto, Edafología. U.C.M.: 72-80
- BALAGUER, J., DE LA CRUZ, M. T. y HERNANDO, J. (1997): «Influencia de la pendiente en la formación de Phaeozems en el Puig de Sant Salvador» (Felanitx, Mallorca). *Rdafología*, n.º 3-2: 301-308.
- BESOAIN, E (1985): *Mineralogía de arcillas de suelos*. Inst. Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica. 1.216 pp.
- BIGHAM, J. M., GOLDEN, D. C., BOWEN, L.H., BOUL, S. W. y WEED, S. B. (1978): *Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols: II. Influence of color, surface area and phosphate retention*. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 825-830.
- CALVET, F., POMAR, L. y ESTEBAN, M. (1975): «Las rizocreciones del pleistoceno de Mallorca». *Rev. Ins. Inv. Geol.* XXX: 35-60.
- CUERDA, J. ANTICH, S. y SOLER, A. (1982): «La secuencia pleistocénica dunar de Son Moson (Mallorca) y sus correlaciones faunísticas y estratigráficas». *Boll. Soc. Ins. Nat. Balears*, 26: 13-35.
- CUERDA, J. AMTICH, S. y SOLER, A. (1984): «El Pleistoceno del Torrente de Son Granada (Balears)». *Boll. Soc. Ins. Nat. Balears*, 28: 67-80.
- DARVEY, B. G., RUSSELL, J. D. y WILSON, M. J. (1975): «Iron oxide and clay minerals and their relation to colours of red and yellow podzolic soils near Sydney». Australia. *Geoderma*, 14: 125-138
- DONER, H. E. y LYNN, W. C. (1989): *Carbonate, halide, sulfate and sulfide minerals. In Minerals in Soils Environments*. Madison, Wisconsin. Ed. SSSA.
- DUCHAUFOUR, Ph. (1987):. *Manual de Edafología I*. Ed. Masson. Paris. 493 pp.
- ELWELL, H. y STOCKING, M. (1976): «Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia». *Goderma*, 15: 61-70.
- ESTEBAN, M. y KLAPPA, C. F. (1983): *Subaerial Exposure Environment*. Eds. Scholle P. A., Bebout, D. G., Moore, C.H. En: *Carbonate depositional Environment*. AAPG Memoir 33. Tulsa.
- F.A.O., I.S.R.I.C and I.S.S.S. (1998): *World Reference Base for Soil Resources*.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., RAVENTÓS, J. y ECHEVARRÍA, M. T. (1987): «Comparision of sediment ratio curves for plants with different architectures». *Catena*, 29: 333-340.
- GUIJARRO, J. A (1986): *Contribución a la bioclimatología de las Baleares*. Tesis doctoral. Univ. Illes Balears.
- HERNÁNDEZ BERMEJO, J. E. y SAINZ OLLERO, H. (1977): *Algunos datos sobre la conservación de los recursos naturales españoles*. En: Ramade, F. (1977): *Elementos de Ecología aplicada*. Ed.Mundi-prensa: 507-545

- INSKEEP, W. P. y BLOOM, P. R. (1987): «Soil chemical factors associated with soybean chlorosis in calcaquolls of Western Minnesota». *Agron. J.* 79: 779-786.
- KLINGE, H. y MELLA, A. (1958): «Los suelos de las islas Baleares». *Anales de Edafología y Fisiología Vegetal*. XVII: 57-93
- LAMOROUX, M., LOYER, J. V., BOULEAU, A. y JANOT, C. (1977): «Formes du fer des sols rouges et bruns fersiallitiques. Application de la spectrometrie Mösbauer». *Cah. ORSTOM, Ser. Pedól.* 15: 199-210.
- LAVKULICH, L. M. (1969): *Soil dynamics in the interpretation of paleosols. Pedology and Quaternary research*. Univ. of Alberta Printing Dept.
- LINDSAY, W. L. (1979): *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & son. New York. 449 pp.
- LOEPPERT, R. H., GEIGER, R. C. HARTWIG, R. C. y MORRIS, D. E. (1988): «Acomparison of indigenous soil factors influencing the Fe-deficiency chlorosis sorghum and soybean in calcareous soils». *J. Plant Nutr.* 11: 1481-1482.
- MARGALEF, R. (1977): *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona. 915 pp.
- MIRAVELLA, A. y CARNICELLI, S. (1992): «Iron oxide mineralogy in red and brown soils developed on calcareous rocks in central Italy». *Geoderma*, 55: 95-109.
- NETTLETON, W. D., FLACH, K. W. y BORST, G. (1968): «A toposequence of soils in tonalite grus in the southern California Peninsula range». *Soil Survey Invest. Report*, 21. SCS-USA. Washington, DF.
- PETTIJOHN, F. J. (1970): *Rocas sedimentarias*. Ed. Universitaria de Buenos Aires.
- POMAR, L. (1975): *Procesos telodiagenéticos en rocas carbonatas del Litoral catalán y Baleares: su relación con microorganismos*. Tesis doctoral. Univ. Barcelona.
- RIPOLL, P. (1981): «Estudi de les formacions edàfiques de la Conca del Torrent d'Almadrà». *Trevalls de Geografia*, 37.
- RITA, J. y VALLEJO, V. R. (1988): «Características de los suelos del Sur de Mallorca I. Descripción morfológica». *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears.* 32: 77-92.
- RITA, J. y VALLEJO, V. R. (1991): «Características de los suelos del Sur de Mallorca II. Propiedades físico-químicas relevantes». *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears.* 34: 73-84.
- ROSELLÓ, V. M. (1964): *Mallorca, el sur y el sureste*. Camara oficial de Comercio. Industria y Navegación de Palma de Mallorca. 553 pp.
- SEGALEM, P. (1968): «Note sur un méthode de determination des produits minéraux amorphes dans certains sols a hidroxides tropicaux». *Cahier ORSTOM. Ser. Ped.* Vol. 6, n.º 1: 105-1126.
- SCHWERTMANN, U. y LENTZE, W. (1966): «Bodenfarbe und Eisen oxidform». *Z. Pflanzenernähr. Dung. Bokend*, 115: 209-214.
- SCHWERTMANN, U. (1982): «Is there Holocene reddening (hemetite formation) in soils of axeric temperate areas?». *Geoderma*, 27: 209-224.
- SCHWERTMANN, U. (1985): *The effect of pedogenic environment on iron oxide minerals*. In: *Advances in Soil Science*. Vol. I. Springer, New York: 171-200.
- SCHWERTMANN, U. (1988): *Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment*. In *Soils and Clay Minerals*. Reidel Dordrecht, Neederlands. 267-308.
- SCHWERMANN, U y TAYLOR, R. M. (1989): *Iron oxides. In minerals in soils environments*. Madison, Winsconsin ed. SSSA.

- THORNES, C. W. (1987): *Erosional equilibria under grazing*. In: J. Bintliff et al. *Conceptual Issues In Environmental Archeology*. Elsevier, Amsterdam 193-310.
- TORRENT, J., SCHWERTMANN, U., FLECHTER, H. y ALFÉREZ, F. (1983): «Quantitative relationships between soil color and hematite content». *Soil. Sci.* 136 (6): 354-358.
- STEVENS (1948) In: Porta et al. (1994): *Edafología para la Agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundiprensa, 807 pp.
- SCHWERTMANN, U. (1985): *The effect of pedogenic environment on iron oxide minerals*. In: *Advances in Soil Science*. Vol. I. Springer, New York.