

INFLUENCIA DE LA PENDIENTE EN LA FORMACIÓN DE PHAEZEMS EN EL PUIG DE SANT SALVADOR (FELANITX, MALLORCA).

J. BALAGUER SIQUIER, M.T. de la CRUZ CARAVACA y J. HERNANDO COSTA

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

Abstract: In this paper we study the influence of the topography on the processes of dragging, formation of phaeozem and stone-line, decarbonation rates and distribution of clay fraction, all of it in a toposequence located in the Puig of Sant Salvador in Mallorca. Likewise, climate, vegetation, and the carbonated origin of the parent material condition the genesis of the soils, detaching the processes of decarbonation, humification, formation of iron oxides and different clay minerals.

Key words: Phaeozem, Toposequence, Mallorca.

Resumen: Se estudia la manifiesta influencia de la topografía sobre los procesos de coluvionamiento, formación de phaeozems y stone-line, tasas de descarbonación y distribución de la fracción arcilla, en una toposecuencia de suelos localizada en el Puig de Sant Salvador, en Mallorca. Asimismo, el clima, la vegetación y la naturaleza carbonatada del material original condicionan la génesis de los suelos, destacando los procesos de descarbonación, humificación, formación de óxidos de hierro y diferentes minerales de arcilla.

Palabras clave: Phaeozem, Toposecuencia, Mallorca.

INTRODUCCIÓN

Son escasos los trabajos sobre suelos de Mallorca. La mayor parte de la información se encuentra en obras de carácter general sobre la región mediterránea (Guerra 1972, Bech 1976, Porta 1985, etc.). Entre los estudios realizados es de obligada mención el trabajo sobre suelos de las Islas Baleares realizado por Klinge y Mella (1958). Posteriormente se han realizado estudios puntuales por Ripoll (1981) en el Torrent d'Almadrà, Rita y Vallejo (1988, 1991) en los suelos del sur de Mallorca y Balaguer (1995) sobre suelos del noreste de la Isla.

En este trabajo se presenta una toposecuencia de suelos en el Puig de Sant Salvador, donde se ponen de manifiesto la presencia de phaeozems y procesos de coluvionamiento, en algunos casos, con una morfología condicionada por la formación de stone-line que se inicia a media pendiente y adquiere gran potencia a pie de monte, llegando a conclusiones sobre la variabilidad de parámetros edáficos tales como: textura, estructura, fenómenos de cambio, dinámica del hierro, procesos de descarbonación y recarbonación y variabilidad de los minerales de arcilla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han seleccionado cuatro perfiles a lo largo de la ladera (Fig.1). Estos perfiles se han desarrollado en un clima mediterráneo subtropical con un régimen de humedad mediterráneo seco y con un régimen térmico subtropical semicálido (Rivas-Martínez, 1994). La vegetación pertenece al piso bioclimático termomediterráneo (Rivas-Martínez, 1987). Los perfiles se han descrito según las normas FAO (1977, 1990) (Tablas 1 y 2). La metodología utilizada en los procedimientos de análisis (pH,

materia orgánica, carbonato cálcico equivalente) así como para la extracción de arcilla, eliminación de carbonatos y materia orgánica, saturación en magnesio y potasio y solvatación con etilenglicol es la recomendada por ISRIC (1993). La identificación de los minerales de la fracción arcilla se realizó por difracción de rayos X con un equipo Philips PW 1710 de radiación de cobre. El carbonato cálcico activo se determinó según NF X 31-106 (Norme Française homologuée, 1982). El análisis del Fe_2O_3T se llevó a cabo mediante ataque con $HClO_4$ y HF , en compresores Phaxe 2000 y posterior disolución con HCl 6N.

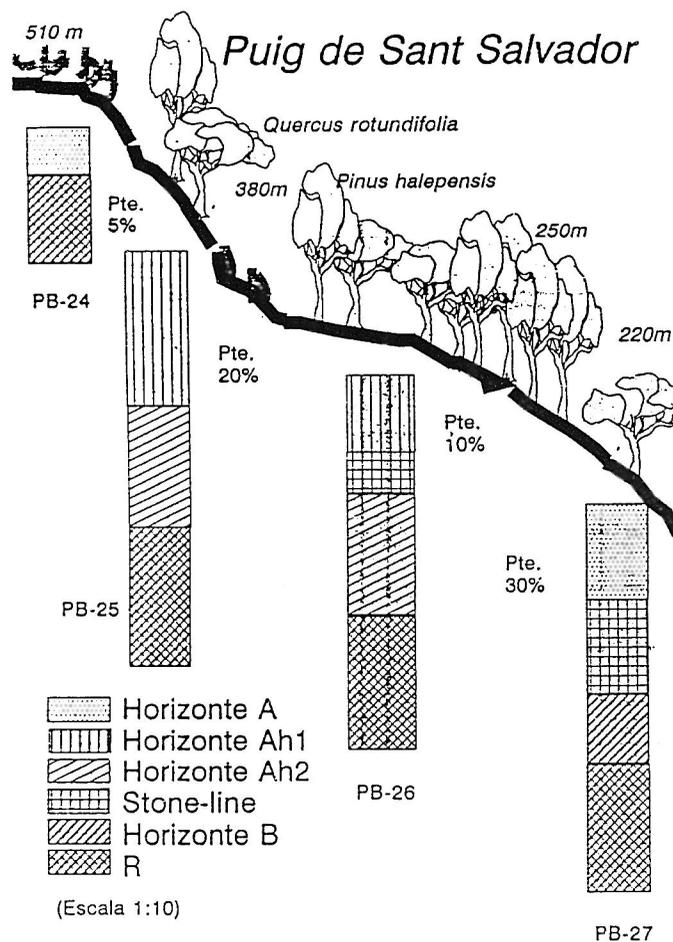


Figura 1.: Representación de los perfiles en la ladera.

Tabla 1: Información general de los perfiles.

PERFIL	UTM	ALTITUD m	FISIOGRAFÍA CIRCUNDANTE	FORMA	PENDIENTE %	ORIENTACIÓN	MATERIAL PARTIDA	PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL %
PB 24	31 SED 164672	510	CIMA	ONDULADO	5	N-NW	MARGA CALCÁREA	5
PB 25	31 SED 155679	380	LADERA	COLINADO	20	S	CALIZA DOLOMÍTICA	5
PB 26	31 SED 158675	250	LADERA	COLINADO	10	SW	CALIZA MARGOSA	20
PB 27	31 SED 151671	220	LADERA	COLINADO	30	W	CALIZA	30

Tabla 2: Características morfológicas y unidades de suelo.

PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDAD cm.	COLOR HÚMEDO	COLOR SECO	ESTRUCTURA	FRAGMENTOS ROCOSOS %	RAÍCES	A. B.	A. H.	CLASIFICACIÓN
PB 24	Ah	0-15	10YR2/2	10YR3/4	GRANULAR	30	F1	NO	RECREO	LEPTOSOL ÉUTRICO
PB 25	Ah1	0-50	10YR3/2	10YR5/2	GRUMOSA	10	G3	NO	NO	PHAEOZEM CALCÁRICO
	Ah2	50-90	10YR4/2	10YR6/2	GRUMOSA		MG2	SÍ	NO	
PB 26	Ah	0-25	7,5YR4/2	10YR6/2	GRANULAR	15	F3	NO	NO	PHAEOZEM CALCÁRICO
	2Ah	35-75	7,5YR4/2	10YR5/2	GRANULAR		M3	NO	NO	
PB 27	Ah	0-30	10YR3/1	10YR4/1	GRANULAR	40	F3	SÍ	NO	PHAEOZEM CALCÁRICO
	2BwC	60-80	10YR5/4	10YR6/2	POLIÉDRICA		G2	NO	NO	

RAÍCES: F: finas; M: medianas; G: gruesas; MG: muy gruesas; I: pocas; 2: abundantes; 3: muy abundantes.
A. B.: Actividad Biológica.. A. H.: Actividad Humana.

Los cationes divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, los monovalentes (K^+ y Na^+) por fotometría de llama. El hierro libre se obtuvo mediante reactivo de Tamm y $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (Duchafour & Souchier, 1966), las formas amorfas y cristalinas, con HCl 8N (Segalen, 1968).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La naturaleza y composición del material calizo, junto con la topografía y vegetación constituyen los factores ecológicos fundamentales que condicionan la formación y evolución de estos suelos. Los procesos genéticos son principalmente descarbonatación y humificación.

A partir de margas, calizas margosas y calizas dolomíticas se forman suelos con texturas que van de francas a arcillosas a medida que se desciende en la pendiente (Tabla 3). Cuando ésta es pronunciada (20%-30%) el porcentaje de arcilla disminuye en horizontes superficiales, mientras que en pendientes más suaves (10%), la arcilla es importante en superficie.

La distribución de la fracción arcilla puede relacionarse con las tasas de descarbonatación (Tablas 3 y 4); así, en la cima, con una escasa pendiente (5%) y a partir de margas, la tasa de descarbonatación es máxima y la arcilla se mantiene. Sin embargo, en pendientes acusadas (20%-30%) la disminución de la arcilla en horizontes superficiales está relacionada con una tasa de descarbonatación inferior; además, parte de la arcilla puede movilizarse a lo largo de la pendiente junto con el CaCO_3 . Si la pendiente disminuye (perfil 26), la arcilla y parte del CaCO_3 pueden permanecer en horizontes superficiales (alcanzando valores del 40% para la arcilla), disminuyendo, entonces, la tasa de descarbonatación hasta el 29% aproximadamente.

El arrastre de materiales queda patente por la presencia de stone-line formado por la erosión de suelos preexistentes, sobre los que se deposita material coluvial, posiblemente edafizado. El espesor del stone-line es menor en

pendientes menos pronunciadas y alcanza una potencia de más de 30 cm. cuando la pendiente es del 30%.

En climas mediterráneos a diferencia de lo que ocurre en climas más húmedos, la descarbonatación es más lenta, jugando un papel fundamental la materia orgánica (Tabla 3); si ésta es muy elevada (perfil 24) la descarbonatación puede llegar a ser total, este fenómeno es sobre todo notorio en las cumbres, donde no se reciben aportes laterales de CaCO_3 .

La vegetación proporciona una abundante materia orgánica que se incorpora profundamente en el suelo y junto al material coluvial edafizado con materia orgánica, da lugar a la formación de epipedones móllicos de gran espesor. En suelos con menores pendientes la razón C/N disminuye, siendo el tipo de humus mull eutrófico en los suelos descarbonatados y mull carbonatado en el resto.

En el paso roca-suelo se ponen de manifiesto los procesos de descarbonatación y acumulación de hierro, que permanece inmovilizado en el suelo debido al pH. La relación $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{L}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ puede ser un índice de la alteración que han sufrido estos suelos. En aquellos con stone-line de gran potencia se observa una relación mayor ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{L}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$) en el horizonte superficial (tabla 5), que podría indicarnos que el material depositado provenía de materiales edafizados previamente, mientras que el resto de los suelos presentan razones similares, que nos indican una alteración moderada.

El hierro libre se presenta mayoritariamente en forma cristalina, siendo las razones $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{cristalino}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{libre}$ del orden de 70%. Dada la escasa liberación de hierro sorprende que pase rápidamente a la forma cristalina ya que según Besoán (1985) las formas amorfas pueden ir asociadas a una escasa alteración o a etapas de alteración primaria, en cambio otros autores consideran que las formas amorfas pueden estar asociadas a alteraciones avanzadas (Kanno, 1959 en Besoán op. cit).

Modelos experimentales consideran que la transformación de los geles amorfos a formas

Tabla 3: Textura y materia orgánica.

PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDAD cm	% ARENA GRUESA	% ARENA FINA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	% MATERIA ORGÁNICA	% C	% N	C/N
PB 24	Ah	0-15	18,51	29,68	25,37	27,51	FRANCO-ARCILLO-ARENOSA	21,47	10,735	1,088	9,86
PB 25	Ah1	0-50	12,68	30,67	43,52	25,70	FRANCA	9,50	4,750	0,318	14,94
	Ah2	50-90	11,43	31	31,03	26,54	FRANCA	4,98	2,490	0,246	10,12
PB 26	Ah	0-25	14,32	27,1	18,83	39,75	FRANCO-ARCILLOSA	6,09	3,045	0,348	8,75
	2Ah	35-45	22,52	20,64	31,32	25,53	FRANCA	4,66	2,330	0,244	9,55
PB 27	Ah	0-30	31,37	17,76	26,21	24,66	FRANCO-ARCILLO-ARENOSA	4,95	2,473	0,176	14,05
	2BwC	60-80	20,86	19,68	19,05	43,13	ARCILLA	1,66	0,830	0,084	9,88

Tabla 4: Capacidad de cambio, pH y carbonatos.

PERFIL	HORIZONTE	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	V	% CaCO ₃ EQUIVALENTE	% CaCO ₃ ACTIVO	% TASA DE DESCARBONATACION
PB 24	Ah	7,60	83	18	2,15	4,18	107,33	81,23	S	TRAZAS	0	100
	ROCA									51,5		
PB 25	Ah1	7,35	72	5	2,45	1,61	81,06	52,66	S	30,14	8,94	49,35
	Ah2	7,40	57	4	3,68	4,50	69,18	34,73	S	48,57	14,44	
PB 26	Ah	7,90	87	6	1,84	2,39	97,23	66,25	S	40,44	10,50	29,48
	2Ah	8,00	75	5	1,84	2,39	84,23	57,42	S	50,3	12,00	
PB 27	Ah	8,10	67	5	1,53	1,61	75,14	61,62	S	33,56	7,31	49,86
	2BwC	8,20	85	3	1,53	0,96	90,49	45,94	S	47,74	12,88	
	ROCA									89,09		

Tabla 5: Formas de Fe₂O₃. Datos expresados en porcentaje

PERFIL	HORIZONTE	Fe ₂ O ₃ TOTAL	Fe ₂ O ₃ LIBRE	RETICULAR	AMORFO/ Fe ₂ O ₃ L	CRISTALINO/ Fe ₂ O ₃ L	Fe ₂ O ₃ L/ Fe ₂ O ₃ T
PB 24	Ah	5,29	1,40	3,89	35	65	26
	ROCA	0,57					
PB 25	Ah1	3,82	1,08	2,74	26	74	28
	Ah2	3,67	0,97	2,7	30	70	26
	ROCA	0,19					
PB26	Ah	4,27	0,85	3,42	29	71	20
	2Ah	3,09	0,74	2,35	21	79	24
	ROCA	1,76					
PB27	Ah	2,15	1,11	1,04	25	75	52
	2BwC	3,53	1,05	2,48	40	60	30
	ROCA	0,80					

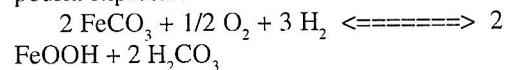
Tabla 6: Minerales de la fracción arcilla.

PERFIL	HORIZONTE	MICA-ILLITA	CAOLINITA	CLORITA	ESMECTITA	VERMICULITA	MICA- ESMECTITA	CLORITA- ESMECTITA
PB 24	Ah	+++	++	+			++	
	ROCA							
PB 25	Ah1	+++	++	+				+
	Ah2	+++	++	+				
PB 26	Ah	+++			+			++
	2Ah	+++			+			++
PB 27	Ah	++			++		+	
	2BwC	++			+	TRAZAS		

cristalizadas por envejecimiento, pasa por las siguientes etapas: pérdida progresiva del agua adsorbida, paso parcial del agua adsorbida a agua de constitución y adquisición progresiva del estado cristalino.

Schwertmann y Taylor (1989) cuestionan la diferenciación de formas amorfas y cristalinas de hierro, que en muchos casos, puede ser arbitraria, ya que muchas formas amorfas alcanzan cierto grado de cristalinidad que no se detecta de forma analítica.

En nuestro caso las formas cristalinas corresponden principalmente a goethita (identificada por difracción de rayos X), muy común en suelos de zonas cálidas, cuya formación podría partir de la disolución de siderita contenida en los materiales carbonatados del suelo con liberación de Fe^{2+} . Según Doner y Lynn (1989) se podría expresar:



La formación de hematites, según Schwertmann y Taylor, presupone la previa formación de ferrhidrita que a su vez se formaría a partir del Fe^{2+} liberado, rápidamente oxidado en presencia de alta concentración de materia orgánica. En clima mediterráneo los procesos de deshidratación debido a la prolongada estación seca son fundamentales para la transformación de ferrhidrita a hematites.

Los minerales fundamentales de arcilla (Tabla 6) son micas-illitas en todos los suelos, apareciendo caolinitas y cloritas en aquellos que carecen de stone-line, y vermiculitas y esmectitas en los que lo presentan. Las micas-illitas, caolinitas y esmectitas son heredadas del material original, mientras que las vermiculitas se han formado por degradación progresiva de las illitas. En medios ricos en magnesio y con pH ligeramente básico (suelos PB 24 y PB 25) es posible que las vermiculitas sufran un proceso de degradación rápido originando cloritas.

REFERENCIAS.

BALAGUER, J., HERNANDO, J., de la CRUZ,

- M.T. (1995): Caracterización de suelos del noreste de Mallorca en "Degradación y Conservación de suelos" Men. XX Reun. Nac. Cien. Suelo. Ed. Dto de Edafología. UCM. ISBN: 84-600-9196-1. 72-80.
- BECH, J. (1976): Sinopsi dels sòls dels països Catalans. Bull. Inst. Cat. Hist. Nat. **40**: 31-44.
- BESOAIN, E. (1985): Óxidos e hidròxidos del suelo en "Mineralogía de arcillas", San José de Costa Rica IICA., 643-736.
- DONNER & LYNN (1989): Carbonate, halide, sulfate and sulfite minerals in "Clay Minerals in Soils Environments". SSSA Book Series 1. Madison, Wisconsin. J. B. Dixon and S. B. Madison, editors.
- DUCHAUFOR, Ph. y Souchier, B. (1966): Science du Sol. **1**, 17-31.
- FAO (1977): Guías para la descripción de perfiles. Roma.
- FAO-UNESCO (1991): Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada.
- GUERRA, A. Y COL. (1972): Los suelos rojos en España. Contribución a su estudio y clasificación. Dto. Suelos Edafología. CSIC. Madrid.
- IGME (1991): Mapa geológico de España. E: 1:50.000. Felanitx. Nº 725. Ed. Dto. de Pub. del Instituto Geológico Minero. Madrid.
- ISRIC (1993): Procedures for soil analysis. Ed. FAO. Wageningen. The Netherlands.
- KANNO, I. (1959): Clay minerals of volcanic-ash soils and pumices in "Mineralogía de arcillas", Besoain, E., San José de Costa Rica: IICA., 643-736.
- KLINGE, H., MELLA, A. (1958): Los suelos de Baleares. An. de Edaf. y Fis. Veg. **17**: 57-92.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS (1975): Munsell color. De. Kollmorgen corp. Maryland
- NORME FRANÇAISE HOMOLOGUÉE (1982): Qualité des sols. Détermination du calcaire actif. NF X 31-106 Paris.
- PORTA, J. (1985): Recursos Geològics i Sòl. En "Història Natural dels Països Catalans". Ed. Fundació Enciclopèdia Catalana.

- RITA, J., VALLEJO, V. R. (1988): Características de los suelos del Sur de Mallorca (I). Descripción morfológica. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, **32**:72-92.
- RITA, J., VALLEJO, V. R. (1991): Características de los suelos del Sur de Mallorca (II). Propiedades físico-químicas relevantes. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, **34**: 73-84
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1987): Memorias del mapa de vegetación potencial de España. ICONA, Madrid.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1994): Clasificación bioclimática de la Tierra. *Folia Botánica Matritensis*. **13**:1-19.
- SCHWERTMANN, U., TAYLOR, R. M. (1989): Iron oxides. In "Clay Minerals in Soils Environments". SSSA Book Series **1**. Madison, Wisconsin. J. B. Dixon and S. B. Madison, editors.
- SEGALEN, P. (1968): Note sur un méthode de determination des produits minéraux amorphes dans certains sols a hydroxides tropicaux. *Cahier ORSTOM. ser Ped* 105-126 Vol. VI n°1.
-