

Cuaternario y Geomorfología. vol. 1, pp. 89-102. 1987.

INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA EVOLUCIÓN DE UN SUELO ARENOSO

Luis CLEMENTE. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Apartado 1052. 41080 Sevilla.

Patricia SILJESTRÖM. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Apartado 1052. 41080 Sevilla.

RESUMEN

Se hace un estudio comparativo de las propiedades morfológicas y físico-químicas de dos suelos ubicados en situaciones geomorfológicas similares.

Los suelos muestran diferencias significativas debidas a los incendios que con cierta periodicidad se han producido. La influencia del fuego ha supuesto una desviación en la catena normal de evolución edáfica de las arenas estabilizadas del Parque Nacional de Doñana.

Palabras clave: fuego, evolución edáfica, arenas, Doñana.

ABSTRACT

A comparative study of the morphological and physicochemical properties of two soils with a similar physiographical position has been done.

The soils show significant differences due to the action of periodic fires. The fire influence conditions a deviation in the general evolution sequence of the stabilized sands in the Doñana National Park.

Key words: fire, soil evolution, sand, Doñana.

INTRODUCCION

El estudio se ha realizado en la subunidad geomorfológica "manto arra-

sado" comprendida dentro de la gran unidad de las arenas estabilizadas del Parque Nacional de Doñana (SW de Huelva) (Siljeström y Clemente, 1987)

El manto arrasado está constituido por varios sistemas dunares interiores (Pou, 1977), desmantelados por la deflación y erosionados por el drenaje (Vanney y Ménanteau, 1979), con escaso relieve. De todas formas, en función de dicho relieve y, por tanto, de la profundidad de la capa freática pueden distinguirse tres situaciones claramente diferenciadas por el tipo de vegetación y, sobre todo, por la densidad de la cobertura vegetal. Estas situaciones son "alto", "ladera" y "bajo" de dunas, que en su conjunto conforman la principal catena de evolución edáfica de las arenas del Parque Nacional de Doñana (Clemente et al, 1984).

Es en las zonas bajas donde se encuentran los suelos más desarrollados y donde la vegetación muestra su máxima cobertura. El trabajo se ha centrado en este área ya que en ella el fuego tiene mayor incidencia.

EL FUEGO EN LA HISTORIA DE DOÑANA

El actual Parque Nacional de Doñana ha sido utilizado como coto de caza y zona de pastoreo y apicultura desde el siglo XIII (Granados, 1985), utilizándose el fuego de rebrote periódicamente. Por este motivo, la historia ecológica de Doñana muestra la progresiva reducción del bosque y matorral noble inicial, pasando a un mosaico de material pirofítico que rodea enclaves conservados (Granados, 1985). Los grandes incendios, pese a su rareza, representan cambios radicales que pesaron gravemente en las zonas conservadas, tal como ocurrió en la de Encinillas Altas en 1981 y 1985, cuando ardieron 300 Ha y 1080 Ha, respectivamente. En concreto, en el incendio de 1981 influyó el largo periodo de sequía, que provocó una elevada mortandad en el matorral (20%-60%) y gran acumulación de necromasa (Granados et al, 1986).

La biomasa del matorral alcanza el valor máximo en las etapas intermedias entre 15 y 30 años y desciende posteriormente, ofreciendo menos recursos tróficos a ramoneadores. La quema controlada de matorral se hacía en Doñana con una periodicidad de 25 a 30 años. Se iniciaba así el nuevo ciclo de

producción del matorral, rebrotado cuando comenzaba a declinar su productividad por senescencia. En efecto, Granados et al (1986) afirman que el tradicional régimen de fuego de rebrote mantiene un matorral metaestable, de carácter netamente pirofítico, con buena canalización de productividad hacia niveles superiores, reduciendo el riesgo de grandes incendios incontrolados que afectan gravemente no sólo a la vegetación, sino también al suelo.

La morfología dunar de la zona de estudio y la inalterabilidad del sustrato (arenas cuarcíticas) favorecen la evolución edáfica en función de la profundidad del nivel freático, que condiciona la cobertura vegetal. En este sentido, las zonas más altas (crestas dunares) presentan escasa vegetación y desarrollo edáfico, mientras que las más deprimidas (bajos de dunas) muestran una densa cobertura vegetal y mayor desarrollo del suelo. Por tanto, es de esperar diferente influencia del fuego en las formaciones edáficas en función de su posición fisiográfica.

La progresiva mineralización de la materia orgánica y posterior lavado de bases por percolación ha dado lugar a un factor limitante por falta de nutrientes, que será más intenso en los enclaves secos (zonas altas) que en los húmedos (zonas bajas). Por otro lado, la reiteración del fuego da lugar a otro factor desorganizativo. Ambos han producido en los altos de dunas una selección de pocas especies (asociación Halimio halimifolii-Stauracanthetum genistoides (Rivas-Martínez et al, 1980)) capaces de permanecer de forma indefinida en un medio oligotrofo y reiteradamente destruido (Merino y García Novo, 1975).

En las zonas deprimidas, que constituyen el área estudiada, no ocurre lo mismo. En esta situación, la capa freática, que incluso puede aflorar en superficie en la época más húmeda, provoca una densa cobertura vegetal, representada por las asociaciones Erico scopariae-Ulicetum australis y Erico ciliaris-Ulicetum lusitanici (Rivas-Martínez et al, 1980). La tendencia que se aprecia en estas áreas hacia una gran acumulación de materia orgánica, provoca mayor acidez que, unido al proceso de lavado del suelo, favorece una decoloración de las arenas hacia tonalidades blanco-grisáceas, con horizontes profundos que pueden llegar a considerarse de gley (Clemente et al, 1984).

Los suelos de estas zonas, debido al intenso fenómeno de hidromorfía y

al desarrollo vegetal y acumulación de materia orgánica, presentan perfiles muy desarrollados, donde pueden apreciarse claramente los efectos de antiguos fuegos.

Con objeto de poner de manifiesto dichos efectos, se han muestreado dos perfiles situados en zonas deprimidas del manto arrasado, uno de los cuales ha sufrido diversos incendios (perfil VIII "Alcornoque Mahón").

CARACTERES EDAFICOS

El perfil VI ("Raposo Bajo"), suelo sin alterar, presenta un alto contenido en materia orgánica en el horizonte superficial (9.0%), que disminuye bruscamente en profundidad (1.9%). El perfil VIII, por el contrario, presenta menor porcentaje de materia orgánica en superficie (5.9%), pero mayor potencia del horizonte orgánico (130 cm) que permite diferenciar cinco subhorizontes. Los valores de materia orgánica disminuyen en profundidad hasta alcanzar los 55 cm (2.1% en Au2), donde se produce un aumento (3.4% en 2Au1), a partir del cual descienden de nuevo hacia la base del perfil. Esta secuencia de variación parece indicar la presencia de un horizonte orgánico enterrado a 55 cm de profundidad, probablemente como consecuencia de un fuego, como ponen de manifiesto restos carbonizados de raíces en el horizonte Au2. Los valores de C y N orgánicos, así como la razón C/N están directamente relacionados con los de materia orgánica, por lo que los contenidos y distribución en ambos perfiles siguen una misma pauta. Estos valores, son más elevados en el horizonte superficial del perfil VI, igualándose en profundidad a los del perfil VIII. Asimismo, es de destacar la variación que experimentan, dentro de éste último perfil, al pasar del horizonte Au2 al 2Au1 confirmando, al parecer, el carácter enterrado de éste último horizonte.

Ambos suelos, desarrollados en depresiones dunares, tienen reacción ácida como corresponde a formaciones edáficas desarrolladas a partir de arenas, fundamentalmente cuarcíticas. En general, los valores de pH aumentan con la profundidad a medida que disminuye la influencia de los compuestos resultantes de la alteración de la materia orgánica.

PERFIL VI "Raposo bajo"

Clasificación	Typic Humaquept
Ubicación	Pinar del Raposo
Pendiente	Casi llano (0 - 2 %)
Drenaje externo	Imperfectamente drenado
Drenaje interno	Imperfectamente drenado
Prof. capa freática	90 cm (octubre 79), 30 cm (febrero 85)
Material original	Arena eólicas
Vegetación	Asociación <i>Erico scopariae-Ulicetum australis</i> .

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-35	Au ₁	5 YR 2,5/1 (h), negro; arenosa franca; migajosa fina; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); raíces finas y medias, muy frecuentes; buena actividad biológica; límite gradual y plano.
35-45	Au ₂	5 YR 3/1 (h), gris muy oscuro; arenosa; migajosa muy fina; suelta (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces muy finas; escasa actividad biológica; límite neto y plano.
45-65	AC	7,5 YR 4,5/2 (h), pardo; arenosa; grano suelto; suelta (s), suelta (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces finas y escasas medianas; límite gradual y plano.
65-	C	10 YR 6/2 (m), gris parduzco claro, algunas manchas pardas difusas asociadas a restos vegetales; iguales características que el anterior.

PERFIL VIII "Alcornoque Mahón"

Clasificación	Cumulic Humaquept
Ubicación	1 Km al S de Encinillas Altas
Pendiente	Casi llano (0 - 2 %)
Drenaje externo	Moderadamente bien drenado
Drenaje interno	Bien drenado
Prof. capa freática	140 cm (febrero 83); 370 cm (octubre 83); 45 cm (febrero 85)
Material original	Arenas eólicas
Vegetación	Asociación <i>Erico-scopariae-Ulicetum australis</i>

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
-----	-----	-----
0-10	Ah	7,5 YR 3/2 (h), pardo oscuro; arenosa; estructura migajosa tendente a grano suelta; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy abundantes raíces gruesas, medias y finas; actividad biológica alta; límite gradual y plano.
10-30	Au ₁	7,5 YR 5/2 (s), pardo, 7,5 YR 4/2 (h) pardo oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces medianas y finas; actividad biológica media; límite gradual y plano.
30-55	Au ₂	7,5 YR 4/2 (s), pardo oscuro, 7,5 YR 3/2 (h) pardo más oscuro; arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), friable (h), ligeramente plástico y adherente (m); escasas raíces finas y muy finas quemadas; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y plano.
55-100	2Au ₁	10 YR 2,5/1 (h), negro; arenosa; grano suelto; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y plano.
100-130	2Au ₂	10 YR 3/1 (h), gris muy oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite gradual y ondulado.
130-150	2AC	10 YR 4/2 (h), pardo grisáceo oscuro; arenosa; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.

...//...

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
150-170	2C	10 YR 7/3 (h), pardo muy pálido; iguales caracteres al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
170-240	2Cg	10 YR 7/3 (h), pardo muy pálido con frecuentes manchas 10 YR 7/8 (h) amarillas que aumentan en profundidad hasta hacerse uniformes a 190 cm, disminuir nuevamente a los 240 cm, y casi desaparecer a los 400 cm; arenosa franca; grano suelto; ligeramente duro (s), ligeramente firme, ligeramente plástico y adherente.

TABLA 1

Análisis químicos generales

Perfil	Horiz.	M.O.	%			C/N	pH (H ₂ O)	Fe ₂ O ₃ (%)		libre/total
			C	N				libre	total	
VI	Au ₁	9,0	5,22	0,17	30,7	5,2	0,18	0,64	28,1	
	Au ₂	1,9	1,10	0,04	27,5	5,1	0,09	0,49	18,4	
	AC	0,4	0,23	0,02	11,5	5,4	0,04	0,13	30,8	
	C	0,2	0,12	0,01	6,0	6,4	0,04	0,12	33,3	
VIII	Ah	5,9	3,42	0,11	31,3	5,1	0,06	0,31	19,3	
	Au ₁	2,0	1,16	0,05	23,2	5,4	0,16	0,41	39,0	
	Au ₂	2,1	1,22	0,05	24,4	4,6	0,11	0,33	33,3	
	2Au ₁	3,4	1,97	0,06	32,8	4,6	0,03	0,36	8,3	
	2Au ₂	1,7	0,98	0,04	24,5	5,2	0,03	0,33	9,1	
	2AC	0,9	0,52	0,03	17,3	6,1	0,01	0,16	6,3	
	2C	0,7	0,40	0,03	13,3	6,0	0,02	0,21	9,5	
	2Cg	0,3	0,17	0,02	8,5	7,5	0,06	0,26	23,1	
	* 280 cm	0,2	0,12	0,02	6,0	6,1	1,14	1,80	63,3	
	* 300 cm	0,2	0,12	0,02	6,0	5,9	1,87	2,52	74,2	

TABLA 2

Análisis físicos y de la CEC

Perfil	Horiz.	CEC	meq/100 g						%				Textura
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	V	Ar G	Ar F	Limo	Arc.		
VI	Au ₁	11,9	0,6	0,1	3,6	1,5	48,7	38,2	49,2	3,5	9,1	Arenosa-franca	
	Au ₂	5,0	t	t	1,3	1,0	46,0	40,5	53,0	2,0	4,5	Arenosa	
	AC	1,0	t	t	t	t	-	58,6	38,1	1,1	2,2	Arenosa	
	C	1,0	t	t	t	t	-	63,9	34,5	0,8	0,8	Arenosa	
VIII	Ah	9,0	0,2	t	3,0	0,8	44,4	67,4	24,8	1,9	5,9	Arenosa	
	Au ₁	3,5	0,2	t	0,8	0,3	37,1	61,5	35,5	1,0	2,0	Arenosa	
	Au ₂	3,5	0,2	t	0,6	0,2	28,6	58,5	34,5	3,0	4,0	Arenosa	
	2Au ₁	4,0	0,2	t	0,4	0,1	17,5	42,3	48,0	3,9	5,8	Arenosa	
	2Au ₂	3,5	t	t	0,4	0,1	14,3	44,5	49,0	2,5	4,0	Arenosa	
	2AC	1,5	t	t	0,2	0,1	20,0	70,5	28,0	0,5	1,0	Arenosa	
	2C	2,0	0,2	t	0,4	0,1	35,0	63,0	34,5	0,5	2,0	Arenosa	
	2Cg	1,5	0,2	t	1,2	0,1	100,0	57,0	40,5	0,5	2,0	Arenosa	
	* 280 cm	-	-	-	-	-	40,0	46,0	3,5	10,5	Arenosa-franca		
	* 300 cm	-	-	-	-	-	43,0	42,0	2,0	13,0	Arenosa-franca		

La posición fisiográfica deprimida del perfil VI, con capa freática que aflora durante la época húmeda, hace que los máximos valores de Fe_2O_3 libre y total aparezcan en el primer horizonte (0.18% y 0.64%, respectivamente), disminuyendo acusadamente en profundidad, donde la influencia permanente del nivel freático no permite la aparición de manchas de hidromorfía. Las razones Fe_2O_3 libre/total disminuyen en un principio a causa del lavado, aumentando en profundidad en los horizontes con ciertas señales de hidromorfía.

El perfil VIII muestra, por el contrario, bajos contenidos en Fe_2O_3 , tanto total como libre, con valores que oscilan alrededor del 0.35% y 0.10%, respectivamente en los horizontes orgánicos (primeros 130 cm). Al pasar a los horizontes minerales los valores de Fe_2O_3 disminuyen como consecuencia de la mayor influencia del nivel freático. Este descenso se recupera hacia la profundidad, apareciendo un aumento considerable en muestras tomadas a 280 cm y a más de 300 cm (1.80% y 2.52% de Fe_2O_3 total y 1.14% y 1.87% de Fe_2O_3 libre, respectivamente). Dicho aumento está de acuerdo con la aparición en la base del perfil de las arenas plio-villafranquienses, que afloran hacia el norte del Parque Nacional (Zazo, 1980; IGME, 1983; Siljeström, 1985).

La tabla 2 recoge los análisis texturales y de CEC. Los perfiles VI y VIII muestran una mayor proporción de fracción fina en superficie, relacionada con el contenido de materia orgánica y, sobre todo, con su situación deprimida, cuya mayor humedad fijará material fino de origen eólico. Si se exceptúan los horizontes orgánicos, puede observarse un contenido en fracción gruesa superior al 95%, de acuerdo con el material sobre el que se han desarrollado los suelos.

Dentro de dicha fracción, el perfil VI, igual que los suelos estudiados en situaciones similares (Siljeström, 1985), presenta en los horizontes superficiales (horizontes A) un predominio de la arena fina sobre la gruesa. Sin embargo, en el perfil VIII, este predominio se da en los horizontes A enterrados (2Au1 y 2Au2), pero no en los horizontes superficiales. Esta excepción del perfil VIII podría deberse a la quema de la vegetación preexistente, como se ha apuntado en la discusión de la materia orgánica. En efecto, después de la desaparición de la cobertura vegetal es lógico pensar en una acción eólica más

fuerte que eliminaría parte de las fracciones finas de las arenas, provocando un aumento relativo de la proporción de arenas gruesas. Por debajo de los horizontes orgánicos, el contenido en arena gruesa aumenta hasta hacerse fuertemente predominante en profundidad.

Por otro lado, la textura más fina de las muestras profundas parece indicar un material completamente diferente, que correspondería a las arenas basales plio-villafranquienses.

Los valores de CEC varían de acuerdo con el contenido y naturaleza de la fracción fina y materia orgánica del suelo. En efecto, puede observarse que los valores más altos corresponden a los horizontes orgánicos más desarrollados (11.9 y 9.0 meq/100 g en los horizontes superficiales de los perfiles VI y VIII, respectivamente), apreciándose un descenso hacia la profundidad de forma paralela al de los porcentajes de materia orgánica. Este hecho explica el valor que presenta el horizonte 2Au1 del perfil VIII (horizonte superficial del suelo enterrado)(4.0 meq/100 g), superior al del horizonte anterior (Au2, 3.5 meq/100 g).

La hidromorfía presente en ambos perfiles se refleja en su grado de saturación, que presenta valores inferiores al 50% en todos los horizontes, salvo en el más profundo del perfil VIII (2Cg), donde aumenta paralelamente al pH (7.5, 100% de saturación), probablemente por contaminación en sales del nivel freático.

CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Los suelos estudiados corresponden a estadios muy evolucionados del complejo dunar estabilizado, reflejándose en la potencia del horizonte orgánico, que se divide en dos subhorizontes en el primero y en cinco en el segundo.

El perfil VI es el que presenta mayor contenido en materia orgánica en el horizonte superficial (9.0%). La elevada razón C/N que muestran los horizontes Au1 y Au2 (30.7 y 27.5, respectivamente) conviene a un humus de tipo mor, aun cuando los valores de pH (5.2) y saturación en bases (48.7%) deberían ser menores. Este hecho es debido a la intensa hidromorfía existente, que retrasa

el proceso de mineralización, por lo que el humus debe clasificarse como moder subtipo hidromoder tendente a hidromor (Duchaufour, 1975). El gran desarrollo del horizonte orgánico (25 cm), y su saturación en bases (50%) permite definir en el perfil un epipedón úmbrico que implica un mayor grado de evolución y clasifica al suelo dentro del orden Inceptisol. El régimen de humedad ácuico, unido al epipedón úmbrico, lo define como Humaquept que, por observar las características centrales de este gran grupo puede clasificarse como Typic Humaquept (Soil Taxonomy, 1975).

El perfil VIII, semejante por su situación geomorfológica, presenta diferente morfología. Esta diferencia estriba básicamente en la presencia de un horizonte orgánico de 130 cm de potencia, dividido en 5 subhorizontes, de los cuales, los tres primeros suponen una discontinuidad respecto al resto del perfil. Este suelo refleja una práctica muy usada en la zona antes de convertirse en Parque Nacional, como es la quema periódica de brezales para su rejuvenecimiento y mayor aprovechamiento como pasto. En efecto, en el contacto del enterramiento, especialmente en el horizonte Au2, se aprecian restos de tallos y raíces carbonizadas. El porcentaje de materia orgánica, así como la relación C/N evidencian asimismo la existencia de una discontinuidad en los horizontes orgánicos, ya que aumentan bruscamente entre los horizontes Au2 y 2Au1.

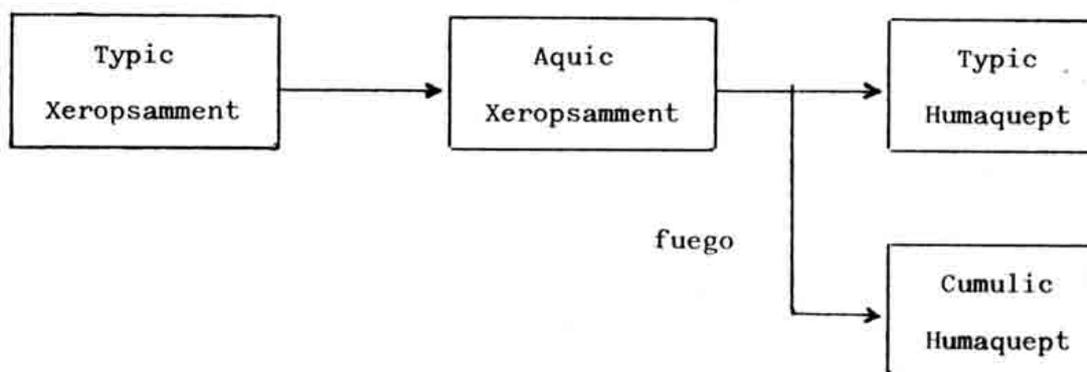
El tipo de humus de este perfil, igual que en el caso anterior, corresponde a un moder hidromorfo, a pesar de tener unos valores de la razón C/N y saturación en bases algo más elevados a los requeridos.

El fenómeno de hidromorfía se refleja hacia la profundidad en la decoloración de las arenas. El espesor del horizonte orgánico permite diferenciar un epipedón que, por cumplir con las exigencias de espesor, color y saturación en bases, puede considerarse úmbrico. Dicho epipedón clasifica al suelo dentro del orden Inceptisol que, por tener un régimen de humedad ácuico se incluiría en el gran grupo Humaquept. La excepcional potencia del horizonte orgánico (130 cm) y la irregularidad en el descenso de los valores de C se reflejan en el subgrupo Cumulic, por lo que el suelo se clasifica como Cumulic Humaquept (Soil Taxonomy, 1975).

CONCLUSION

Los suelos del complejo de dunas estabilizadas del Parque Nacional de Doñana se desarrollan en función de los procesos de hidromorfía y acumulación de materia orgánica. La catena de evolución comienza en las crestas de las dunas con un Typic Xeropsamment que pasa a Aquic Xeropsamment en las laderas y finalmente a Typic Humaquept en las depresiones o valles interdunares. Los dos suelos estudiados pertenecen a esta última situación, presentando uno de ellos ciertas características (horizonte orgánico de 130 cm de potencia, descenso irregular de C orgánico en profundidad, tallos y raíces quemadas enterradas, etc.) que inducen a pensar en la existencia de un suelo enterrado, que hubiese sido previamente quemado. Este hecho refleja una práctica muy usada en esta zona antes de convertirse en Parque Nacional, como es el fuego periódico de rebrote.

El fuego ha afectado de distinta manera a los suelos a lo largo de la catena. En los primeros estadios ha contribuido a su esqueletización y empobrecimiento. Por el contrario, en los suelos muy evolucionados con elevado nivel freático y densa cobertura vegetal, ha contribuido a aumentar el espesor del horizonte orgánico (Cumulic Humaquept). Por ello hay que considerar a éstos suelos compartiendo con el Typic Humaquept el último eslabón de la secuencia evolutiva, en la que suponen una desviación debida a la influencia del fuego.



REFERENCIAS

- CLEMENTE, L.; SILJESTRÖM, P. and MUDARRA, J.L. (1984): Procesos edafogenéticos en las arenas de la Reserva Biológica de Doñana. Actas I Cong. Nac. Ciencia Suelo, Madrid, 561-573.
- DUCHAUFOR, Ph. (1975): Manual de Edafología. Edit. Toray-Masson, 476 pp.
- GRANADOS, M. (1985): Causas históricas de la estructuración de los ecosistemas del Parque Nacional de Doñana. Tesis Doctoral, Univ. Sevilla.
- GRANADOS, M.; MARTIN, A. and GARCIA NOVO, F. (1986): El papel del fuego en los ecosistemas de Doñana. Bol. Est. Central Ecol., 29, 17-28.
- IGME (1983): Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Colección Informe, Madrid, 120 pp.
- MERINO, J. and GARCIA NOVO (1985): Ordenación de las poblaciones de *Rosmarinus officinalis* L. por su composición mineral empleando técnicas de análisis factorial. Anal. Inst. Bot. J. Cavanilles, 32, 521-536.
- POU, A. (1977): Implicaciones paleoclimáticas de los sistemas dunares de Doñana. Actas V Reun. Clim. Agric., Santiago de Compostela, Min. Agric., 10 pp.
- RIVAS-MARTINEZ, S.; COSTA, M.; CASTROVIEJO, S. and GARCIA NOVO, F. (1980): Vegetación de Doñana (Huelva-España). Lazaroa, 2, 5-190.
- SILJESTRÖM, P. (1985): Geomorfología y Edafogénesis de las Arenas del Parque Nacional de Doñana. Tesis Doctoral, Univ. Sevilla, 515 pp.
- SILJESTRÖM, P. y CLEMENTE, L. (1987): Historia geológica y geomorfología actual del Parque Nacional de Doñana. En prensa.
- SOIL SURVEY STAFF (1975): Soil Classification. A Comprehensive System. 7th Approximation. U.S. Dept. of Agriculture, 754 pp.
- VANNEY, J.R. and MENANTEAU, L. (1979): Types de reliefs littoraux et dunaires en Basse Andalousie (de la ria de Huelva à l'embouchure du Guadalquivir). Melanges de la Casa de Velázquez, 15, 5-52.
- ZAZO, C. (1980): El Cuaternario marino-continental y el límite plio-pleistoceno en el litoral de Cádiz. Tesis Doctoral, Univ. Complutense, Madrid, 436pp.