

# RUBEFACCION E HIDROMORFISMO EN SUELOS DE TERRAZAS DEL GUADALQUIVIR

## II. DATOS FISICOS, QUIMICOS Y MINERALOGICOS

por

L. CLEMENTE, G. PANEQUE y W. GARCES

### SUMMARY

#### RUBEFACTION AND HYDROMORPHISM PROCESSUS IN SOILS OF GUADALQUIVIR TERRACES. II. PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL DATA

Physical, chemical and mineralogical properties of three profiles belonging to a catena localized in an area relatively small on the second terrace of the Guadalquivir river within the county of La Rinconada have been studied.

On the basis of the properties, one deepens into the knowledge of forms, distribution and dynamics of iron in the profile in relation to the rubefaction and hydromorphism processus.

### I. INTRODUCCIÓN

Entre los procesos fundamentales de edafización que se observan en sedimentos aluviales pertenecientes a la segunda terraza del Valle del Guadalquivir (*nivel rissense*, Clemente y Paneque, 1974) destacan los de rubefacción e hidromorfismo. En un trabajo anterior se han estudiado algunos de los factores que se estiman que condicionan ambos procesos, o al menos pueden explicar la presencia de suelos muy distintos, en un área relativamente pequeña localizada en dicha terraza (Paneque y Clemente, 1975). En ella existe una secuencia de suelos que va desde el rojo fersialítico hasta el pardo hidromorfo con pseudogley, con un intermedio rojo hidromorfo.

En el presente trabajo se estudian propiedades físicas, químicas y mineralógicas de tres perfiles de suelos de la secuencia citada con objeto de profundizar en la dinámica particular de los procesos edafogénicos responsables de la rubefacción e hidromorfismo.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Como se ha indicado, el estudio se llevó a cabo en tres perfiles representativos de las distintas formaciones edáficas del área seleccionada. Los perfiles se describieron en un trabajo anterior (Paneque y Clemente, 1975).

Las determinaciones analíticas se realizaron en muestras secas al aire, molidas y tamizadas por 2 mm. Ø. Para la extracción de la fracción arcilla, se eliminó la materia orgánica con  $H_2O_2$  al 6 por 100 y se destruyeron los carbonatos con  $ClH$  N/20.

En la fracción tierra fina se efectuaron las siguientes determinaciones: *humedad*; *materia orgánica* y *carbono* (Walkley y Black, 1935); *nitrógeno* (Kjeldahl modificado, Jackson, 1958); *análisis mecánico* (De Leenheer y col., 1955); *acidez* en pasta de suelo saturada en agua; *carbonatos* (calímetro Bernard); *capacidad de cambio de cationes* (Schollemberger y Simon, 1945, modificado); *Ca* y *Mg de cambio* (Schwarzenbach, 1959); *Na* y *K de cambio* (fotometría de llama); *hierro total* (fusión alcalina); *hierro libre* (Endredy, 1963); *hierro amorfo* (Segalen, 1968); *hierro ferroso* (Vizier, 1969); *hierro reticular* (diferencia entre hierro total y libre); *hierro cristalino* (diferencia entre hierro libre y amorfo).

El *análisis mineralógico* de la fracción arcilla se llevó a cabo por difracción de rayos X sobre muestra en polvo, agregados orientados y saturados en  $Mg^{++}$  y en muestra solvatada con glicerol. Se empleó un difractómetro Philips modelo PW 1010, con registrador PR 2210 y goniómetro PW 1050/25; radiación  $Cu K\alpha$ .

## III. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y COMENTARIOS

De acuerdo con las características generales de los suelos de la región (C. E. B. A. C., 1962; Paneque y Mudarra, 1966), los perfiles estudiados son pobres en materia orgánica, ninguno alcanza el 2 por 100. Las razones C/N son bajas, próximas a 10; la reacción es en general neutra, variando desde ligeramente ácida a ligeramente básica; la capacidad de cambio se encuentra altamente saturada en bases. Estos datos permiten pensar en la presencia de un humus de tipo mull mesótrofo y eutrofo.

Existen diferencias en el valor de la reacción de los suelos rojos fersialíticos y suelos hidromorfos. En los primeros, el pH es siempre neutro o ligeramente básico, aumentando hacia la profundidad del perfil, donde existe acumulación de carbonatos. En los suelos hidromorfos, el pH es siempre inferior a 7, disminuyendo hacia el horizonte donde el proceso hidromorfo se encuentra más acentuado. Este carácter ácido

posiblemente es una propiedad derivada de la hidromorfia, que provoca procesos de óxido-reducción en el suelo. En la fase de oxidación, el  $\text{Fe}^{++}$  pasa a  $\text{Fe}^{+++}$  liberando un hidrogenión ( $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$ ), que desatura parcialmente el complejo de cambio y desciende el pH del suelo (Ponnamperuma, 1964). Brinkman (1970) estudia esta serie de procesos en los que interviene el hierro y propone para su conjunto el nombre de *ferrolisis*.

Parece que efectivamente la acidez resultante de dichos procesos provoca cierta desaturación del complejo de cambio del suelo, puesto que cierta interdependencia de ambos valores (pH y saturación) puede apreciarse en la tabla I. No obstante la saturación de la capacidad de cambio es alta incluso en los horizontes más hidromorfos, siendo el valor más bajo (90,6 por 100) el correspondiente al horizonte  $\text{B}_{20}$  del perfil 10-RH. Esta general alta saturación podría indicar una escasa formación de  $\text{Fe}^{++}$  (tabla II), incluso en el periodo de mayor anaerobiosis, teniendo en cuenta por otro lado la pobreza que muestran los suelos en materia orgánica y su naturaleza.

En los suelos hidromorfos (perfiles 10-RH y 28-PH), existe, como se ha indicado, una disminución hacia la profundidad del valor del pH, acompañada de cierta desaturación del complejo de cambio. Sin embargo, al pasar al horizonte más profundo (nivel calizo rojo supuesto enterrado) se produce un aumento apreciable en ambos valores. Concretamente el pH pasa bruscamente en el perfil 10-RH, de 5,5 a 7,4 y de 6,1 a 7,0 en el perfil 28-PH; al mismo tiempo, aumenta la saturación del complejo de cambio al 100 por 100.

El complejo de cambio en estos suelos lo constituye casi exclusivamente la fracción fina de los mismos. Existe también por consiguiente, una cierta dependencia entre los valores del análisis granulométrico y los de la capacidad de cambio, como puede observarse en la mencionada tabla I. Esta dependencia no se cumple en los horizontes de acumulación de carbonatos, ya que para el análisis granulométrico se eliminan.

Conviene resaltar, en relación a la textura, el aumento en el contenido de arcilla que presentan los suelos hidromorfos, en especial en 28-PH que en el horizonte más profundo, alcanza 80,5 por 100. Esto parece estar de acuerdo con la hipótesis de que los horizontes más profundos de los hidromorfos coinciden con una discontinuidad litológica respecto del resto del perfil, confirmando observaciones previas de Bellinfante, Paneque y Clemente (1970). Hay que hacer notar la gran semejanza textural de aquellos horizontes con los B/Ca del suelo rojo fersialítico (perfil 2-RF).

Quizás sean las determinaciones de hierro las que reflejan con mayor claridad la dinámica evolutiva de los suelos estudiados.

Los suelos presentan contenidos relativamente altos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total.

TABLA I

Perfil	Horizonte	Propiedades químicas generales						Capacidad de cambio (m e q /100 g)						Granulometría (%)				
		M.O.	C	N	C/N	pH	CO <sub>2</sub> <sup>==</sup>	T	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V	A. G.	A. F.	Limo	Arc.
2-RF	Ap	1,45	0,84	0,08	10,5	7,0	0,0	25,2	0,8	1,8	18,2	4,4	25,2	100,0	7,2	27,2	17,0	47,5
	B <sub>2t</sub>	1,88	0,80	0,08	10,0	7,1	0,0	32,4	0,4	1,0	26,4	4,0	32,4	100,0	5,9	19,0	14,5	58,8
	B <sub>2t</sub> /Ca	1,31	0,70	0,07	10,8	7,8	24,2	21,4	0,4	0,6	16,4	4,0	21,4	100,0	3,5	14,4	12,0	70,0
	B <sub>3</sub> /Ca	0,97	0,56	0,06	9,3	7,8	43,0	16,3	0,2	0,5	12,4	3,2	16,3	100,0	1,8	9,2	13,1	70,3
	C/Ca	0,59	0,34	0,04	8,5	7,9	30,2	18,3	0,2	0,7	16,2	1,2	18,3	100,0	2,2	10,1	19,5	68,2
28-PH	Ap	1,70	1,04	0,10	10,4	6,7	0,0	11,2	0,4	0,5	7,5	2,8	11,2	100,0	8,8	45,7	18,2	24,9
	B <sub>1s</sub>	1,10	0,64	0,06	10,7	6,6	0,0	13,8	0,3	0,5	10,4	2,6	13,8	100,0	7,1	38,5	17,9	35,5
	B <sub>21s</sub>	0,60	0,40	0,04	10,0	6,1	0,0	21,6	0,3	0,6	17,0	2,8	20,7	95,8	4,6	31,2	17,6	45,5
	B <sub>23s</sub>	0,60	0,40	0,04	10,0	6,1	0,0	23,4	0,3	0,9	17,0	4,4	22,6	96,5	4,1	30,0	17,9	47,5
	II B/Ca	0,62	0,36	0,04	9,0	7,0	22,0	20,0	0,5	0,8	12,5	0,2	20,0	100,0	0,3	66,0	13,7	80,5
10-RH	Ap	1,14	0,66	0,07	9,4	6,5	0,0	6,7	0,3	0,6	3,8	2,0	6,7	100,0	20,5	40,7	8,7	30,2
	Ap/Bg	0,79	0,46	0,05	9,2	6,5	0,0	9,6	0,3	0,7	7,2	1,4	9,6	100,0	17,8	39,9	8,6	32,5
	B <sub>2s</sub>	0,72	0,42	0,04	10,5	5,5	0,0	20,2	0,4	0,8	13,2	3,9	18,3	90,0	7,0	21,1	10,0	62,1
	B <sub>2s</sub> /Ca	0,72	0,42	0,04	10,5	7,4	1,6	21,2	0,5	0,9	17,8	2,0	21,2	100,0	3,0	19,5	7,2	71,0

TABLA II

Perfil	Horizonte	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>														
		T	L	A	C	R	(**)	L/T	A/T	C/T	R/T	A/L	A/C	C/L	R/L	R/C
2-RF	Ap	5,58	3,70	1,60	2,10	1,70	trazas	67,0	28,7	30,3	32,1	42,2	73,1	57,8	47,2	81,7
	B <sub>2</sub> t	6,65	4,60	2,25	2,35	2,05	»	69,2	33,8	35,3	30,8	48,0	95,7	51,1	44,0	87,2
	B <sub>2</sub> t/Ca	5,58	3,27	1,25	2,02	2,31	»	58,6	22,4	36,2	41,4	38,2	61,9	61,8	70,0	114,4
	B <sub>3</sub> /Ca	4,15	1,03	0,50	1,43	2,22	»	46,5	12,1	34,5	53,5	25,9	35,0	74,1	115,0	155,2
	C/Ca	4,86	2,12	0,70	1,42	2,74	»	43,6	14,4	29,2	56,4	33,0	40,3	67,0	120,3	193,0
28-PH	Ap	3,43	2,06	0,50	1,56	1,37	»	60,1	14,6	45,5	39,0	24,3	32,1	75,7	66,5	87,8
	B <sub>1s</sub>	4,57	2,66	0,55	2,11	1,91	»	58,2	12,0	46,2	41,8	20,7	26,1	79,3	71,8	90,5
	B <sub>21s</sub>	5,20	3,07	0,85	2,22	2,22	»	58,0	18,0	42,0	42,0	27,7	38,3	72,3	72,3	100,0
	B <sub>22s</sub>	5,20	3,02	0,70	2,32	2,27	»	57,1	13,2	43,9	42,9	23,2	30,2	76,8	75,2	97,8
	II B/Ca	0,01	2,86	0,70	2,16	3,15	»	47,6	16,5	35,9	52,4	24,5	32,4	75,5	110,1	145,8
10-RH	Ap	3,00	2,03	0,70	1,33	0,97	»	67,7	23,3	44,3	32,3	34,5	52,6	65,5	47,8	72,9
	Ap/B <sub>1s</sub>	4,00	2,82	1,00	1,82	1,18	»	70,5	35,4	45,5	29,5	35,5	55,0	64,5	41,8	64,8
	B <sub>2s</sub>	5,86	4,38	1,50	2,88	1,48	»	74,7	25,6	40,1	25,3	34,3	52,1	65,7	33,8	51,4
	B <sub>2s</sub> /Ca	0,15	4,20	1,25	2,95	1,95	»	68,3	20,3	48,0	31,7	29,8	42,4	70,2	46,4	66,1

T, total; L, libre; A, amorfo; C, cristalino; R, reticular; (\*\*), ferroso.

Es el horizonte  $B_{2t}$  del suelo rojo fersialítico (perfil 2-RF) el que ofrece el más alto porcentaje (6,65 por 100), de acuerdo con su condición de horizonte de acumulación o textural, comprobado ya en otros suelos rojos de Andalucía occidental (Paneque y Olmedo, 1966, 1971). A partir de dicho horizonte, los contenidos disminuyen hacia la profundidad como consecuencia de una gran acumulación de carbonatos en los horizontes inferiores. En general, la variación de los porcentajes de  $Fe_2O_3$  total en el perfil sigue una secuencia paralela a la variación textural, en el sentido de que a los horizontes más arcillosos corresponden mayores contenidos en  $Fe_2O_3$ . Esta secuencia de variación es similar en los suelos hidromorfos, donde a pesar de existir también acumulación de caliza en el horizonte más profundo, el porcentaje de  $Fe_2O_3$  aumenta debido a la alta proporción de arcilla (80,5 por 100 en el horizonte II Cca del perfil 28-PH).

La variación de los contenidos en  $Fe_2O_3$  libre está ligada a los de  $Fe_2O_3$  total, como se observa en la tabla II. Ya que la liberación de óxidos de hierro es un resultado general de la alteración y evolución de los suelos, para los situados sobre la misma terraza fluvial cabría esperar razones  $Fe_2O_3$  libre/total similares. Clemente (1973) comprueba una estrecha relación entre el valor de dicha razón y el nivel de terraza que el suelo ocupa. En la tabla II se aprecia que para los suelos estudiados de esta segunda terraza, los valores están comprendidos entre 60 y 70 en superficie y disminuyendo con la profundidad, excepto en el perfil 10-RH. La disminución de la razón libre/total podría explicarse por una pérdida de  $Fe_2O_3$  libre en favor de un aumento en el contenido de  $Fe_2O_3$  reticular como consecuencia de la neoformación de arcilla montmorillonítica en profundidad (afirmación que se verá apoyada en el estudio mineralógico de la arcilla), que introduciría hierro en su red cristalina. Segalen (1970) demuestra que el hierro residual después del tratamiento a los rayos ultravioletas (método del  $Fe_2O_3$  libre) no puede localizarse más que en las redes de los minerales arcillosos o primarios. En efecto, en la tabla II puede observarse un aumento de esta forma de hierro reticular ( $Fe_2O_3$  R) hacia la profundidad. Al mismo tiempo, la razón  $Fe_2O_3$  reticular/total aumenta en el mismo sentido, de forma clara en el rojo fersialítico (2-RF) y ligeramente en el pardo hidromorfo (28-PH), salvo en el horizonte más profundo donde el aumento es brusco, diferenciándose, una vez más, las propiedades de dicho horizonte de las del resto del perfil. En dicho perfil, el aumento de la acidez frenaría la neoformación de arcilla ferrífera, anteriormente señalada, y por ello el aumento de la razón reticular/total se hace insignificante. En el perfil 10-RH, debido a una acidez más pronunciada —pH 5,5 en el horizonte  $B_{2r}$ —, la razón R/T no sólo no aumenta sino que incluso disminuye, salvo en el horizonte más profundo, que como en el caso del perfil 28-PH, muestra un aumento brusco.

La mayor proporción de hierro reticular en profundidad se pone de manifiesto con claridad en los valores de las razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  reticular/libre y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  reticular/cristalino. En la tabla II, se aprecia que en el suelo rojo fersialítico dichas razones alcanzan valores de 129,3 y 193,0, respectivamente, mientras que en superficie son, respectivamente, de 47,2 y 81,7. Debido a la acidez del medio, en los suelos hidromorfos estos valores no son tan elevados. En los perfiles 10-RH y 28-PH se produce, por el contrario, una mayor cristalización del hierro en forma de numerosas concreciones, más abundantes en el rojo hidromorfo que en el pardo hidromorfo, como puede apreciarse por las relaciones C/L.

Quizás sean las formas amorfas y cristalinas del hierro (cuyo conjunto constituye el hierro libre), las que mejor diferencien los procesos de hidromorfía y rubefacción.

Los minerales ricos en hierro de los sedimentos aluviales, calizos en principio, se alteran, pasando el hierro al exterior donde precipita en forma de óxidos más o menos hidratados debido al ambiente calizo del área. Después del lavado de carbonatos, dichos óxidos se ponen en contacto con la arcilla adsorbiéndose en ella durante el período seco; esta adsorción produce un bloqueo en la cristalización de los sesqui-óxidos por los silicatos filitosos (Lamouroux, 1972). Las formas amorfas del hierro recubren los constituyentes del suelo, enmascarando su color y ofreciendo al mismo color rojo. Por tanto, la rubefacción está ligada a las condiciones que favorecen la formación de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo, tales como tiempo suficiente de alteración, medio bien drenado y clima relativamente cálido con estaciones secas y húmedas alternadas, condiciones que cumplen los sedimentos de la segunda terraza del Guadalquivir. En ésta existen suelos rojos, salvo en aquellas zonas donde la naturaleza del mismo sedimento impide el drenaje, desviando la evolución hacia el suelo pardo hidromorfo con pseudogley e incluso hacia la tierra negra andaluza, cuando las condiciones de hidromorfía son extremas.

Es lógico esperar una secuencia de disminución de los contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo, en los suelos estudiados, en el sentido suelo rojo fersialítico  $\rightarrow$  rojo hidromorfo  $\rightarrow$  pardo hidromorfo.

Si los contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo son menores en los suelos hidromorfos, las proporciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cristalino son, por el contrario, mayores. Estas diferencias se ponen de manifiesto comparando los valores de las razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo/libre y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo/cristalino. Esta última llega a alcanzar un valor de 95,7 en el rojo fersialítico (2-RF), mientras que en el pardo hidromorfo el valor más alto es de 38,3, presentando valores intermedios el rojo hidromorfo.

Las condiciones óxido reductoras derivadas del proceso de hidromorfía de los perfiles 10-RH y 28-PH son favorables a la cristalización de los óxidos de hierro amorfo, conduciendo a la formación de concrecio-

TABLA III

*Difracción de rayos X de la arcilla del perfil 2-RF*

Ap		B <sub>2</sub> t		B <sub>2</sub> t/Ca		R <sub>2</sub> /Ca		C/Ca	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
13,59	mD	14,48	mD	14,97	banda	14,72	banda	13,80	banda
10,04	M	10,04	D-M	13,38	débil	13,18	D-M	12,13	D-M
7,02	D	7,02	D	10,04	D-M	10,04	M	10,04	M
4,95	D	4,95	mD	7,02	D	4,95	mD	7,02	mD
4,46	F	4,45	mF	5,00	mD	4,87	M	4,87	D
4,26	M	4,26	M	4,87	M	4,44	mF	4,44	mF
3,86	D	3,86	mD	4,45	mF	4,26	M	4,26	M
3,73	D	3,73	D	3,86	mD	3,86	mD	3,86	D
3,53	M	3,52	M	3,52	D	3,73	mD	3,73	mD
3,34	mF	3,34	mF	3,34	mF	3,52	M-D	3,52	D
2,98	mD	2,98	D	2,98	D	3,34	mF	3,34	mF
2,50	F	2,50	F	2,56	F	2,98	D	3,20	mD
2,50	mD	2,50	mD	2,50	mD	2,56	F	2,98	mD
2,37	mD	2,37	D	2,45	mD	2,50	mD	2,56	F
2,13	mD	2,13	D	2,37	D	2,37	D	2,45	mD
1,98	mD	2,00	D	2,23	mD	2,23	mD	2,37	D
1,81	D	1,81	D	2,12	mD	2,00	mD	1,81	D
1,69	banda	1,74	banda	1,99	mD	1,81	mD	1,72	banda
1,65	débil	1,64	débil	1,81	mD	1,69	banda	1,68	débil
1,54	D	1,54	D	1,72	banda	1,65	débil	1,50	M
1,50	M	1,49	M	1,68	débil	1,54	mD		
1,40	M-D			1,50	M	1,50	M		

*Agregados orientados*

14,24	banda	14,24	banda	14,72	banda	14,72	banda	13,80	banda
13,00	m. D.	13,00	m. D.	13,00	débil	13,00	m. F.	12,63	m. F.
10,04	F	10,04	F	10,04	F	10,04	F	10,04	mF
7,13	M								

*Agregados orientados y solvatados con glicerol*

18,78	banda	17,66	banda	17,66	banda	10,02	banda	10,02	banda
16,05	m. D.	16,05	m. D.	14,02	m. D.	16,06	media	17,66	fuerte
10,04	mF	10,04	F	10,04	F	10,04	F	10,04	mF
7,13	M	7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	M

TABLA IV

*Difracción de rayos X de la arcilla del perfil 28-PH*

Ap		B <sub>1g</sub>		B <sub>21g</sub>		B <sub>22g</sub>		HB Ca <sub>1</sub>	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
10,04	D-M	10,04	D-M	15,72	mD	13,59	mD	13,80	mD
7,13	M	7,13	M	10,04	D-M	10,04	D-M	10,04	D-M
4,95	D	4,95	D	7,13	M	7,13	M	7,13	D
4,46	F	4,46	F	5,00	D	5,03	D	4,98	D
4,25	F	4,25	F	4,46	F	4,46	F	4,46	F
3,88	mD	3,51	M	4,24	F	4,26	F	4,25	M
3,53	M	3,33	mF	3,73	D	3,73	mD	3,51	D
3,34	mF	2,99	D	3,51	M	3,53	M	3,34	F
2,98	D	2,56	F	3,34	mF	3,34	mF	2,99	D
2,56	F	2,45	D	2,99	D	2,99	D	2,56	F
2,45	D	2,38	D	2,56	F	2,85	mD	2,45	D
2,37	D	2,34	mD	2,45	D	2,56	F	2,37	D
2,34	mD	2,23	mD	2,37	M	2,45	D-M	2,24	mD
2,23	D	2,13	D	2,34	mD	2,37	D	2,13	mD
2,13	D	1,98	D	2,13	D	2,28	mD	1,98	mD
1,98	D	1,81	M	1,98	D	2,13	D	1,82	D
1,81	M	1,70	banda	1,81	M	1,98	D	1,70	banda
1,70	banda	1,64	media	1,70	banda	1,82	D-M	1,64	D-M
1,64	media	1,54	D	1,64	media	1,70	banda	1,54	mD
1,54	D	1,50	M	1,54	D	1,80	media	1,50	M
1,50	M			1,50	M	1,54	D		
						1,50	M		

*Agregados orientados*

14,72	mD	14,72	mD	14,97	banda	15,72	banda	15,72	banda
10,04	mF	10,04	F	13,80	m. D.	13,00	débil	13,00	débil
7,13	M	7,13	D-M	10,04	mF	10,04	mF	10,04	F
				7,13	M	7,13	M	7,13	M

*Agregados orientados y solvatados con glicerol*

19,62	banda	18,30	mD	19,62	banda	18,78	banda	19,62	banda
17,66	m. D.	10,04	F-M	17,31	m. D.	16,93	débil	16,98	débil
10,04	F-M	7,13	D	10,04	mF	10,04	mF	10,04	F-M
7,13	D			7,13	D-M	7,13	D-M	7,13	D

TABLA V

*Difracción de rayos X de la arcilla del perfil 10-RH*

Ap		Ap/B <sub>2</sub> g		B <sub>2</sub> g		B <sub>2</sub> g/Ca	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
10,04	M	10,04	D-M	10,04	D-M	14,24	mD
7,13	M-D	7,13	D-M	7,13	M	10,04	D-M
4,95	M	4,98	D-mD	4,98	mD	7,13	M
4,48	F	4,48	F	4,48	F	4,95	M-D
4,26	F	4,26	F	4,26	F-M	4,48	F
3,89	mD	3,50	D-M	3,86	D-mD	4,26	F-M
3,75	mD	3,34	mF	3,70	mD	3,70	mD
3,50	D-M	2,98	D	3,50	D-M	3,52	D-M
3,34	mF	2,85	mD	3,34	mF	3,34	F
2,98	D	2,56	F	2,98	D	2,98	D
2,85	D	2,45	D	2,83	D	2,56	F
2,56	F	2,38	D	2,56	F	2,37	D
2,46	D	2,28	D	2,45	D	2,13	mD
2,37	D	2,24	mD	2,38	mD	1,99	mD
2,28	D	2,13	D	2,23	mD	1,82	mD
2,23	mD	1,98	D	2,13	D	1,70	banda
2,13	D	1,82	D-M	1,98	D	1,64	media
1,98	D	1,70	banda	1,81	D	1,54	D
1,82	D-M	1,64	media	1,70	banda	1,50	M
1,69	banda	1,54	D	1,64	media		
1,64	media	1,50	M	1,54	mD		
1,54	D-M			1,50	M		
1,50	M						
<hr/>							
10,04	mF	15,22	banda	14,24	banda	15,49	banda
7,13	F	13,80	m. D.	13,18	m. D.	13,80	débil
		10,04	mF	10,04	mF-F	10,04	mF-F
		7,13	F	7,13	F-M	7,13	F-M
<hr/>							
<i>Agregados orientados y solvatados con glicerol</i>							
<hr/>							
10,04	mF	10,04	mF	17,66	mD	17,66	mD
7,13	F	7,13	F	10,04	F	10,04	F
				7,13	M	7,13	M
<hr/>							

nes o acumulaciones difusas en forma de manchas abigarradas. Lamou-roux (1972) y Blume (1968) explican la formación de estas segregaciones en los suelos hidromorfos como consecuencia de la disolución por reducción, en un medio más ácido, del hierro que recubre a los agregados (amorfo fundamentalmente) y transporte a su interior. En el período seco si la difusión de oxígeno es rápida, permitiría la formación de concreciones, mientras que si es lenta se formaría un abigarramiento en el color del perfil, como así lo presenta el suelo pardo hidromorfo con pseudogley (28-PH). Dicho abigarramiento supondría unas condiciones hidromorfas más acentuadas. Esto es, el suelo rojo hidromorfo (10-RH) podría considerarse como un estadio intermedio entre el rojo fersialítico (2-RF) y el pardo hidromorfo (28-PH), en el que se conserva el color rojo. En dicho estadio, las concreciones de sesquióxidos son más abundantes, y en general, los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cristalino serían más elevados, como se confirma comparando los valores de la razón  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cristalino/total e incluso los valores absolutos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cristalino. Esta cristalización en los suelos hidromorfos es fundamentalmente hacia goetita, según se desprende del estudio de las concreciones de suelos análogos de la misma zona (Bellinfante et al., 1970).

La secuencia de variación de las distintas formas de hierro y en especial el aumento del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  reticular hacia la profundidad, apunta hacia la neoformación de arcilla ferrífera, fundamentalmente en los horizontes inferiores.

El estudio de la mineralogía de la fracción fina del suelo por difracción de rayos X confirma esta hipótesis. En efecto, las tablas III, IV y V muestran que la presencia de montmorillonita es apenas perceptible en superficie, mientras que en los horizontes de acumulación de carbonatos es predominante. Este predominio es mucho más acusado en el suelo rojo fersialítico (2-RF) que en los suelos hidromorfos (10-RH y 28-PH), lo cual está de acuerdo con la reacción ácida que presentan dichos suelos. Existe asimismo proporciones más o menos importantes de illita y caolinita en los tres perfiles. Dichos minerales predominan en superficie e incluso, aunque ligeramente, en los horizontes hidromorfos de los perfiles 10-RH y 28-PH. En profundidad, sobre todo en los horizontes de acumulación caliza, el predominio corresponde a montmorillonita, como ya se ha indicado.

#### IV. DISCUSIÓN GENERAL

El proceso de hidromorfía provoca una disminución en el contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo y al mismo tiempo un aumento en el correspondiente al  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cristalino, fundamentalmente en forma de goetita (Bellinfante et al., 1970). Por ello, quizás sea el estudio del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, que engloba ambas formas (amorfa y cristalina), el que de forma más

clara diferencia de los procesos edáficos tratados en el presente trabajo. En ambos tipos de suelos existe un aumento en el contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  reticular, hacia la profundidad, aunque de forma más acentuada en el rojo fersialítico, ya que el descenso del pH en los suelos hidromorfos frenaría la neoformación de arcilla que incluiría el hierro en su red cristalina.

A la hora de clasificar los suelos estudiados, hay que tener en cuenta el proceso de la hidromorfía, que llega a ser predominante en el perfil 28-PH, por lo que dicho carácter hidromorfo tiene fuerza suficiente para introducir dicho suelo en la clase de los hidromorfos, según la sistemática francesa (C. P. C. S., 1967), y no debiera considerarse fersialítico, como sucede con los perfiles 2-RF y 10-RH. Lamoureaux (1971) propone valor superior a 20 de la razón  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo/total para clasificar un suelo como fersialítico. A este respecto, hay que poner de manifiesto que los perfiles 2-RF y 10-RH superan dicho valor, mientras que el perfil 28-PH no lo alcanza en ninguno de sus horizontes.

Por consiguiente, el suelo representado por el perfil 28-PH debe ser clasificado, según la sistemática francesa, dentro de la clase XI, *suelos hidromorfos*; subclase, *minerales o poco húmidos*; grupo, *con pseudogley*; subgrupo, *de capa colgada*. En la sistemática americana, la correspondencia sería con un *Aquic haploxeralf*.

El perfil 10-RH formaría parte de la clase IX de la sistemática francesa, *suelos con sesquióxidos*; subclase, *fersialíticos*; grupo, *lavado con reserva cálcica* (intergrado de los dos grupos de la subclase), subgrupo, *muy lavado*; a nivel de subgrupo habría que tener en cuenta el carácter hidromorfo, que no es lo suficientemente pronunciado para introducirlo en el subgrupo, *muy lavado y muy hidromorfo con pseudogley*. Según la clasificación americana, el suelo sería un *Aquic-calcic rhodoxeralf*.

El perfil 2-RF pertenece, en la sistemática francesa, a la clase IX, *suelos con sesquióxidos*; subclase, *fersialíticos*; grupo, *lavado con reserva cálcica* (intergrado de los dos grupos de la subclase); subgrupo, *modal*. En la clasificación americana sería un *calcic rhodoxeralf*.

#### R É S U M É

On a procédé à l'étude des propriétés physiques, chimiques et minéralogiques de trois profils de sols appartenant à une zone de faible extension sur la seconde terrasse du Guadalquivir, dans le territoire communal de La Rinconada (Séville).

A partir des données de ces propriétés, on a approfondi la connaissance des formes, de la distribution et de la dynamique du fer dans le profil, en rapport avec les processus de rubéfaction et d'hydromorphisme.

## RESUMEN

Se estudian propiedades físicas, químicas y mineralógicas de tres perfiles de suelos pertenecientes a una catena localizada en un área relativamente pequeña de la segunda terraza del río Guadalquivir, dentro del término de La Rinconada (Sevilla).

Sobre la base de dichas propiedades, se profundiza en el conocimiento de las formas, distribución y dinámica del hierro en el perfil, en relación con los procesos de rube-facción e hidromorfismo.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto (Sevilla)  
y Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias de Córdoba.*

## BIBLIOGRAFÍA

- BELLINFANTE, N., PANEQUE, G. y CLEMENTE, L. 1970 a. Estudio físico-químico y eda-fogenético de un perfil complejo situado en la terraza del Guadalquivir de S. Pablo (Sevilla). *An. Edaf. y Agrob.*, XXIX, 403.
- BELLINFANTE, N., PANEQUE, G. y CLEMENTE, L. 1970 b. Estudio de las concreciones de un suelo de perfil complejo situado en la terraza del Guadalquivir de S. Pablo (Sevilla). *An. Edaf. y Agrob.*, XXIX, 477.
- BLUME, H. P. 1968. Zum mechanismus der Marmorierung und Konkretionsbildung in Stauwasserböden. *Z. Pflanz. Düng. Bodenkunde*, Bd., 119, 2, 124.
- BRINKMAN, R. 1970. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3, 199.
- C. E. B. A. C. 1962. Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla. Edit. C. S. I. C. y Diput. Prov. de Sevilla.
- CLEMENTE, L. 1973. Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Guadalquivir. Tesis, Fac. Ciencias de Sevilla.
- CLEMENTE, L. y PANEQUE, G. 1974. Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Valle del Guadalquivir. I. Factores ecológicos y relaciones edafo-geomorfológicas. *An. Edaf. y Agrob.*, XXXIII, 215.
- COMMISSION DE PEDOLOGIE ET DE CARTOGRAPHIE DES SOLS. 1967. Classifications des sols. I. N. R. A., Versailles.
- DE LEENHEER, L., VAN RUYMBEKE, M. y MAES, L. 1955. L'analyse mécanique au moyen de l'hydromètre à chaîne. *Silic. Ind.*, 20, 237.
- ENDREY, A. S. 1963. Estimation of free iron oxides in soils and clays by a photolytic method. *Clay Miner. Bull.*, 5, 29.
- JACKSON, M. L. 1958. Soil chemical analysis. Constable and Cie. Ltd., Londres.
- LAMOUREUX, M. 1971. Etude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersialitique au Liban. Thèse Sc., Strasbourg.
- LAMOUREUX, M. 1972. Etat et comportement du fer dans les sols formés sur roches carbonatées au Liban. *Sc. du Sol*, 1, 85.
- PANEQUE, G. y CLEMENTE, L. 1974. Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Valle del Guadalquivir. IV. Suelos hidromorfos. (En prensa.)
- PANEQUE, G., CLEMENTE, L. y GARCÉS, W. 1975. Rubefacción e hidromorfismo en suelos de terrazas del Guadalquivir. I. Datos geomorfológicos, fisiográficos y morfológicos. *An. Edaf. y Agrob.*, XXXV, 405.
- PANEQUE, G. y MUDARRA, J. L. 1966. Morfología, sistemática y cartografía de los suelos de Andalucía occidental. *Conf. Suelos Medit.*, 417, Madrid.
- PANEQUE, G. y OLMEDO, J. L. 1966. Suelos rojos lavados sobre areniscas calizas del Sur de España. *Conf. Suelos Medit.*, 307, Madrid.

- PANEQUE, G. y OLMEDO, J. L. 1971. Contenido, distribución y formas del hierro en suelos de Andalucía occidental. IV. Hierro y análisis mecánico del suelo. An. Edaf. y Agrob., XXX, 647.
- PONNAMPERUMA, F. N. 1964. Dynamics aspects of flooded soils and the nutrition of rice plants. Mineral nutrition of the rice plant. Int. Rice Res. Inst., Symposium 1964, Filipinas.
- SCHOLLENBERGER, C. J. y SIMON, R. H. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soils. Ammonium acetate method. Soil Sc., 59, 13.
- SCHWARZENBACH, G. 1959. Las complexonas en el análisis químico. Edit. Atlas, Madrid.
- SEGALEN, P. 1968. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, sér., Pédol., 1, 105.
- SEGALEN, P. 1970. Extraction du fer libre des sols à sesquioxydes par la méthode de DE ENDREY par irradiation à l'ultraviolet de solutions oxaliques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VII, 483-496.
- SOIL SURVEY STAFF. 1967. Supplement to soil classification system (7th approximation). U. S. Dept. Agriculture.
- VIZIER, J. F. 1969. Choix et mise au point d'une de dosage du fer ferreux applicable aux sols hydromorphes minéraux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VII, 435-445.
- WALKLEY, A. y BLACK, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic and titration method. Soil Sci., 37, 29.

Recibido para publicación: 17-VI-75