



# ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Anal. Edaf. Tomo XXXV. Núms. 1-2. Págs. 1-242

Madrid, Enero-Febrero 1976

## SUMARIO

	Páginas
Relación entre la enfermedad producida por el hongo <i>Micosphaerella fragariae</i> y el estado nutritivo del fresón, por <i>V. Hernando</i> y <i>M. Casado</i> ... ..	1
Aplicación de sulfato magnésico en la corrección de los efectos de salinidad producidos por el cloruro sódico en el tomate, por <i>M.<sup>a</sup> P. Sánchez Conde</i> . Related distribution patterns in soils and their significance, by <i>H. Eswaran</i> and <i>C. Baños</i> ... ..	13 33
Suelos de la zona húmeda española. VIII. Suelos con fragipan, por <i>F. Guitián Ojea</i> y <i>F. Macías Vázquez</i> ... ..	47
Génesis de los suelos rojos del Valle del Guadalquivir: evolución y degradación, por <i>J. de Olmedo Pujol</i> ... ..	71
Positive and negative root membrane potentials, por <i>E. A. Ferreiro</i> and <i>A. K. Helmy</i> ... ..	95
Estudio comparativo de las relaciones Q/I de potasio en diferentes tipos de suelo de la isla de Tenerife. III, por <i>J. Hernández Moreno</i> , <i>E. Fernández Caldas</i> y <i>A. Borges Pérez</i> ... ..	103
Suelos de la zona húmeda española. VIII. Suelos con fragipan, por <i>F. Macías Vázquez</i> , <i>M. C. Villar Celorio</i> y <i>F. Guitián Ojea</i> ... ..	111
Desarrollo y nutrición de la <i>Avena ludoviciana</i> Dur. como respuesta a la humedad del suelo en tiestos experimentales, por <i>V. Hernando Fernández</i> y <i>R. González Ponce</i> ... ..	129
Capacidad tampón de potasio en diferentes tipos de suelo de la isla de Tenerife. V, por <i>E. Fernández Caldas</i> , <i>J. Hernández Moreno</i> y <i>A. Borges Pérez</i> ... ..	143
Relaciones Q/I de potasio en suelos de la isla de Tenerife. IV. Cálculo de las reservas de potasio lábil por reducciones sucesivas de la razón de actividades, $a_K/a^{1/2}_{(Ca+Mg)}$ , por <i>E. Fernández Caldas</i> , <i>A. Borges Pérez</i> y <i>J. Hernández Moreno</i> ... ..	151
Influencia del nitrógeno y del potasio en el contenido en boro de la planta de fresa, por <i>J. A. Kosón Riestra</i> , <i>I. Martín del Molino</i> y <i>J. Sancho Ursa</i> ... ..	159
Comparación de hormonas, marcos de plantación y variedades de tomate en cultivo bajo invernadero, por <i>J. Cuartero</i> y <i>M. Baguena</i> ... ..	169
Comprobación del método de «variantes sistemáticas» para una interacción binaria, por <i>J. L. Martín Polo</i> ... ..	185
Determinación de elementos-traza y distribución en las distintas fracciones del suelo. V. Rendsinas, por <i>C. Magucaa</i> , <i>M. Lachica</i> , <i>J. Aguilar</i> y <i>J. L. Pérez Rodríguez</i> ... ..	203
 NOTAS	
Reunión de la Junta de Gobierno del Patronato «Alonso de Herrera» en Sevilla ... ..	235
Visita a la Estación Biológica de Doñana ... ..	235
Actos en homenaje a José María Albareda ... ..	236
Invitaciones a profesores extranjeros ... ..	236
Ciclo de conferencias ... ..	237
Autorizaciones para trasladarse al extranjero ... ..	237
Cambio de Secretario en el Instituto de Alimentación y Productividad Animal. Real Academia de Farmacia ... ..	237 237
Bibliografía ... ..	241





# RELACION ENTRE LA ENFERMEDAD PRODUCIDA POR EL HONGO *MICOSPHAERELLA FRAGARIAE* Y EL ESTADO NUTRITIVO DEL FRESON (1)

por

V. HERNANDO (\*) y M. CASADO (\*\*)

## SUMMARY

### THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DISEASE PRODUCED BY *MICOSPHAERELLA FUNGUS* AND THE NUTRITIVE STATE OF THE STRAWBERRY PLANT

Three experiments in the field were made to study the influence of N, P and K on the degree of attack of the fungus *Micosphaerella fragariae* in the strawberry. The N helps the development of the disease when the quantity applied is over 250 kg/ha/year. P and N have not had any significant effect on the disease, under our conditions. Leaf analysis shows that a correlation exist between the doses of N which increases the disease and the imbalance of the elements Fe and Mn, therefore, with the changes in the oxidational processes of the plant.

## INTRODUCCIÓN

La influencia que los fertilizantes ejercen sobre la resistencia de las plantas a las enfermedades es conocida desde hace más de cincuenta años. Los trabajos publicados son numerosos, pero en la mayoría de los casos sólo se pretende poner el hecho en evidencia. Actualmente se impone una investigación más profunda encaminada a conocer la naturaleza del fenómeno, pero especialmente dirigida a determinar las dosis de nutrientes y el equilibrio entre ellos que produzca la mayor resistencia de las plantas a las enfermedades, lo que permitirá reducir el

(1) Este trabajo ha sido expuesto en el «XIX International Horticultural Congress», celebrado en Varsovia en septiembre de 1974, no habiendo sido publicado por ser norma del Congreso no publicar las comunicaciones completas sino solamente el resumen.

(\*) Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.

(\*\*) Estación Experimental «La Mayora». Algarrobo (Málaga).

uso de los pesticidas y, en definitiva, la contaminación producida por estos agentes.

La fisiología del proceso es poco conocida. El concepto de que el desequilibrio nutritivo, al ser causa de una perturbación en el metabolismo, origina los compuestos orgánicos más propicios para la nutrición del parásito, va dejando paso a otras ideas que asimilan el fenómeno a la existencia de auténticos anticuerpos que inhiben el desarrollo del hongo.

Esta propiedad de anticuerpo tiene alguna relación con los compuestos fenólicos, porque el metabolismo de estos compuestos se modifica cuando se incrementan las enfermedades (1) (6). Por otro lado, cuando el metabolismo del nitrógeno es perturbado a causa de un desequilibrio nutritivo se produce una actividad excesiva de la fenoloxidasa (2).

En el presente trabajo se estudia el grado de ataque del hongo *Micosphaerella fragariae* en plantas de fresón, en relación con tratamientos de N, P y K. Y también se realiza un control de los niveles en la hoja de los elementos N, P, K, Ca, Fe, Mn, Zn y B, con el fin de poner en evidencia las perturbaciones tróficas que guarden relación con el desarrollo del parásito.

#### PARTE EXPERIMENTAL

Se realizaron tres experimentos en pleno campo en una parcela homogénea en la Estación Experimental «La Mayora», situada en la Costa del Sol, al sur de España.

El suelo era de textura franca, con bajos contenidos en N, P y K. Se utilizaron plantas de fresón, variedad «Tioga».

En el experimento número 1 se ensayaron cinco dosis de nitrógeno, aplicadas a parcelas elementales de 20 m<sup>2</sup>, distribuidas en bloques al azar con cuatro repeticiones (tabla I). A este experimento se aplicó una dosis única de potasio estimada como normal en anteriores ensayos realizados en la Estación.

En el experimento 2 (tabla II) se ensayaron tres dosis de potasio, distribuidas cada una de dos formas: una, aplicando un 50 por 100 antes de la plantación y el resto en cobertera; otra, aplicando toda la dosis en cobertera, escalonadamente. El fertilizante nitrogenado se aportó a este experimento en dosis única, deducida anteriormente como la óptima.

Las tres dosis de fósforo ensayadas en el experimento núm. 3 también se aplicaron de dos formas: aportando toda la dosis antes de la plantación, y aplicando sólo el 50 por 100 y el resto en cobertera (tabla III).

En todos los experimentos el trasplante se realizó en el mes de agosto de 1972. Después de la recolección del fruto, que finalizó el día 10



T A B L A I

## EXPERIMENTO 1

*Tratamientos nitrogenados. Unidades de N por hectárea, en un año*

Dosis	Aplicación de fondo	Aplicación en cobertera		Total
		Hasta la recolección (sep.-abr.)	Después de la recolección (jun.-jul.)	
N <sub>0</sub>	—	—	—	—
N <sub>1</sub>	50	176	24	250
N <sub>2</sub>	100	352	48	500
N <sub>3</sub>	150	528	72	750
N <sub>4</sub>	200	704	96	1.000
N <sub>5</sub>	250	880	120	1.250

Se aplicó una dosis de potasio de 200 unidades de K/Ha.

T A B L A I I

## EXPERIMENTO 2

*Tratamientos potásicos. Unidades de K por hectárea*

Dosis	Aplicación de fondo	Aplicación en cobertera	Total
K <sub>0</sub>	—	—	—
K <sub>1</sub>	—	100	100
K <sub>1</sub> '	50	50	100
K <sub>2</sub>	—	200	200
K <sub>2</sub> '	100	100	200
K <sub>3</sub>	—	300	300
K <sub>3</sub> '	150	150	300

Se aplicó una dosis de 750 unidades de N por hectárea.

TABLA III

## EXPERIMENTO 3

Tratamientos de fósforo. Unidades de P por hectárea

Dosis	Aplicación de fondo	Aplicación en cobertera	Total
P <sub>0</sub>	—	—	—
P <sub>1</sub>	22	—	22
P <sub>1</sub> '	11	11	22
P <sub>2</sub>	44	—	44
P <sub>2</sub> '	22	22	44
P <sub>3</sub>	88	—	88
P <sub>3</sub> '	44	44	88

Se aplicó una dosis de 750 unidades de N y otra de 200 unidades de K, por hectárea.

de junio de 1973, se continuó el cultivo para el estudio del desarrollo de la enfermedad, dejando de aplicar tratamientos contra hongos, aunque se siguió aportando fertilizante nitrogenado para compensar las pérdidas por lavado debidas a los riegos. Durante el mes de septiembre, con las condiciones climáticas favorables, las plantas fueron atacadas por el hongo *Micosphaerella fragariae*.

Para evaluar el grado de ataque en cada parcela elemental se contó el número de plantas sanas, plantas enfermas leves y plantas enfermas graves. Y se tomaron muestras de hojas sanas y de hojas enfermas en todos los tratamientos y en cada una de las repeticiones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas IV, V y VI se exponen los valores correspondientes al grado de ataque del hongo en relación con los tratamientos, calculados según la fórmula de Townsend y Heuberger (\*).

(\*) El grado de la enfermedad, según Townsend y Heuberger (7), se estima aplicando la siguiente fórmula:

$$G_e = \frac{n_i \cdot v_i}{V_m \cdot N} \times 100.$$

en la que,

v<sub>i</sub> = valores escalares.

n<sub>i</sub> = frecuencia de la muestra correspondiente a v<sub>i</sub>.



TABLA IV

Grado de ataque del hongo en relación con los tratamientos de nitrógeno, calculada según Townsend y Heuberger

Bloques	Tratamientos					
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
I ... ..	45,2	46,6	48,3	38,6	73,7	67,8
II ... ..	41,2	31,0	42,6	60,5	57,6	49,6
III ... ..	36,1	45,7	53,0	55,5	52,0	61,3
IV ... ..	19,0	25,3	49,5	54,9	61,1	47,2
Suma ... ..	141,5	148,6	193,4	209,5	244,4	225,9
Media ... ..	35,4	37,1	48,3	52,4	61,1	56,5

N<sub>0</sub> y N<sub>1</sub> tienen dif. signific. con N<sub>3</sub> al nivel 5 por 100.

N<sub>0</sub> y N<sub>1</sub> tienen dif. signific. con N<sub>4</sub> y N<sub>5</sub> al nivel 1 por 100.

Los tratamientos de nitrógeno favorecen el desarrollo de la enfermedad cuando la dosis aplicada es superior a N<sub>1</sub> (250 kg. de N por hectárea). Con esta dosis el ataque del hongo es similar al producido sobre las plantas que no recibieron ningún aporte de nitrógeno, y se puede considerar que es leve. Pero ya con la dosis N<sub>2</sub> se produce un fuerte ataque, que aún es mayor con las dosis superiores de nitrógeno.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis N<sub>3</sub> y N<sub>1</sub> y todas las demás, pero la más alta significación se cumple entre aquellas y las dosis N<sub>4</sub> y N<sub>5</sub>.

Vm = valor máximo de la escala.

N =  $\sum ni$  = tamaño de la muestra.

Su aplicación en este trabajo se ha hecho como sigue:

Estado de la planta	Valor escalar asignado (v <sub>i</sub> )	Número de plantas correspondientes (n <sub>i</sub> )
Sanas ... ..	v <sub>0</sub> = 0	n <sub>0</sub>
Enfermas leves... ..	v <sub>1</sub> = 1	n <sub>1</sub>
Enfermas graves ... ..	v <sub>2</sub> = 2	n <sub>2</sub>

En la que el valor máximo de la escala Vm es igual a 2, y N =  $\sum ni$ , es el número total de plantas.

TABLA V

*Grado de ataque del hongo en relación con los tratamientos de fósforo, calculado según Townsend y Heuberger*

Bloques	Tratamientos						
	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> '	P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> '	P <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> '
I ... ..	64,5	36,5	40,5	40,4	46,2	54,4	56,6
IV ... ..	44,1	29,7	51,0	46,6	53,6	47,2	54,4
III ... ..	59,7	51,7	51,2	48,4	56,0	55,4	61,3
IV ... ..	59,6	52,7	40,5	34,2	33,0	58,5	50,0
Suma ... ..	227,9	170,6	183,2	169,6	188,8	215,5	222,3
Media ... ..	56,9	42,6	45,8	42,4	47,2	53,8	55,5

Sin significación estadística.

TABLA VI

*Grado de ataque del hongo en relación con los tratamientos de potasio, calculado según Townsend y Heuberger*

Bloques	Tratamientos						
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub> '	K <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> '	K <sub>3</sub>	K <sub>3</sub> '
I ... ..	40,5	50,0	65,6	46,3	60,9	50,0	56,2
II ... ..	51,6	66,3	56,1	31,3	62,4	63,1	56,0
III ... ..	55,2	61,8	51,0	50,9	50,4	43,5	41,2
IV ... ..	54,7	43,3	70,6	56,7	54,6	55,3	61,7
Suma ... ..	202,0	221,4	243,3	185,2	228,3	211,9	215,1
Media ... ..	50,5	55,3	60,8	46,3	57,0	52,8	53,8

Sin significación estadística.



De aquí se deduce que se puede mantener un leve grado de enfermedad aplicando una dosis de 250 unidades de nitrógeno por hectárea y año.

Hay que destacar que esta dosis no coincide con la que produjo los mayores rendimientos en este experimento, que fue la  $N_3$  (fig. 1).

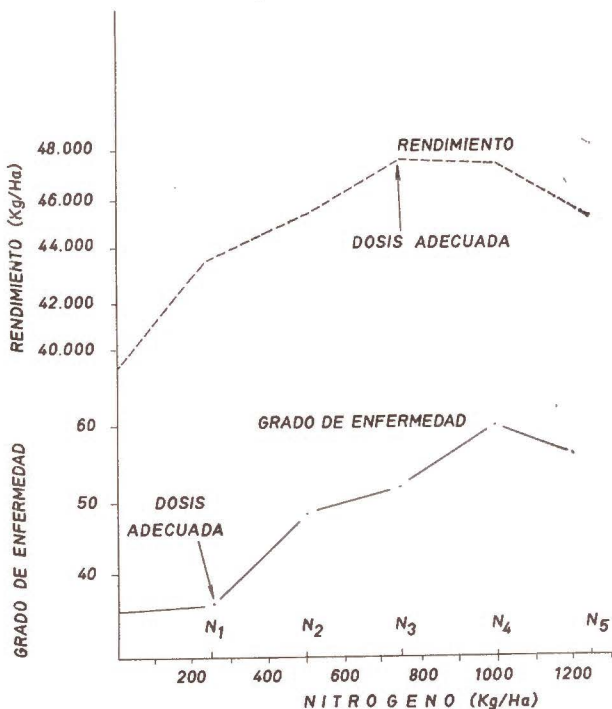


Fig. 1

Los tratamientos de fósforo y potasio no han ejercido ningún efecto significativo sobre la enfermedad, al contrario de lo que hemos observado en otros experimentos (4) en los que el potasio ejerció una acción depresora sobre el ataque del hongo *Phytophthora*. El grado de ataque por *Micosphaerella* en todas las plantas con tratamientos de fósforo y potasio es alto y los valores son similares a los producidos por dosis altas de nitrógeno, lo cual está en consonancia con la dosis de este elemento aplicada a estos experimentos, dosis que se aplicó por ser la óptima para producir los mayores rendimientos.

El análisis foliar indica que hay un fuerte aumento de los niveles de manganeso en las hojas, tanto en las sanas como en las enfermas, cuando se incrementan las dosis de nitrógeno (tablas VII y VIII).

Como consecuencia del aumento del manganeso en la planta se pro-

TABLA VII

*Análisis foliar de plantas sanas*

Tratamientos	N	P	K	Ca	Fe	Mn	Zn	B	Fe/Mn
	% (peso seco)				(p. p. m.)				
N <sub>0</sub>	2,1	0,32	1,30	0,9	80	80	45	35	1,0
N <sub>1</sub>	2,1	0,35	1,40	0,8	65	70	40	40	0,93
N <sub>2</sub>	2,2	0,33	1,25	1,0	65	90	40	52	0,72
N <sub>3</sub>	2,0	0,33	1,40	0,8	80	140	40	32	0,57
N <sub>4</sub>	2,1	0,32	1,30	0,9	85	115	45	32	0,74
N <sub>5</sub>	2,2	0,36	1,40	0,8	70	145	45	39	0,48
P <sub>0</sub>	2,0	0,35	1,30	0,8	70	115	35	51	0,61
P <sub>1</sub>	2,3	0,37	1,45	0,9	85	120	35	46	0,71
P <sub>1</sub> '	2,3	0,35	1,30	1,0	60	125	35	31	0,48
P <sub>2</sub>	2,3	0,34	1,35	0,9	75	135	35	53	0,56
P <sub>2</sub> '	2,3	0,35	1,30	0,9	90	135	45	37	0,67
P <sub>3</sub>	2,3	0,33	1,30	0,9	80	110	40	81	0,73
P <sub>3</sub> '	2,4	0,33	1,10	0,8	90	170	35	40	0,53
K <sub>0</sub>	2,3	0,36	1,35	0,8	80	130	35	35	0,61
K <sub>1</sub>	2,2	0,36	1,35	0,9	75	140	35	44	0,53
K <sub>1</sub> '	2,0	0,35	1,35	0,8	60	125	30	46	0,48
K <sub>2</sub>	2,0	0,38	1,45	0,6	65	100	30	29	0,65
K <sub>2</sub> '	2,2	0,34	1,20	0,6	65	120	25	45	0,54
K <sub>3</sub>	2,2	0,38	1,50	0,8	85	100	35	31	0,48
K <sub>3</sub> '	2,0	0,33	1,20	0,9	75	170	35	49	0,44

duce un desequilibrio entre este elemento y el hierro. Este desequilibrio se aprecia en el valor de la razón Fe/Mn, el cual, según hemos comprobado en trabajos sobre carencia de hierro en el fresón (5), no debe ser inferior a 0,8 para mantener la normalidad de los procesos oxidativos de la planta.

Valores anormalmente bajos de la razón Fe/Mn los ofrecen en estos experimentos todas las plantas que recibieron una dosis de nitrógeno N<sub>2</sub> o superior.

De aquí parece deducirse que hay cierta relación entre el nitrógeno, cuando se aplica a dosis relativamente altas, y el desequilibrio Fe/Mn, o sea los procesos de oxido-reducción de la planta. Y esta consecuencia



TABLA VIII

*Análisis foliar de plantas enfermas*

Trata- mientos	% (peso seco)				Fe	Mn	Zn	B	Fe/Mn
	N	P	K	Ca					
N <sub>0</sub>	1,9	0,32	1,15	1,0	75	85	45	36	0,88
N <sub>1</sub>	2,0	0,29	1,10	1,2	90	75	50	32	1,20
N <sub>2</sub>	2,0	0,29	1,05	1,2	85	75	45	36	1,13
N <sub>3</sub>	2,0	0,30	1,10	1,2	115	175	60	56	0,66
N <sub>4</sub>	2,0	0,27	0,85	1,5	120	205	60	41	0,58
N <sub>5</sub>	2,1	0,34	1,30	0,9	95	155	45	43	0,61
P <sub>0</sub>	1,9	0,27	0,80	1,6	110	145	60	67	0,75
P <sub>1</sub>	2,2	0,35	1,25	1,0	90	135	35	78	0,67
P <sub>1</sub> '	2,3	0,32	1,05	1,3	100	165	45	42	0,60
P <sub>2</sub>	2,3	0,31	1,10	1,3	100	175	45	50	0,57
P <sub>2</sub> '	2,1	0,26	1,25	2,0	135	310	60	45	0,43
P <sub>3</sub>	2,1	0,28	0,95	1,4	105	140	55	86	0,75
P <sub>3</sub> '	2,3	0,34	1,15	1,2	90	180	35	31	0,50
K <sub>0</sub>	2,2	0,36	1,25	1,0	90	175	35	29	0,51
K <sub>1</sub>	2,1	0,30	0,85	1,6	105	180	45	51	0,58
K <sub>1</sub> '	2,2	0,24	0,75	1,2	75	145	35	37	0,52
K <sub>2</sub>	2,2	0,31	1,15	1,0	90	175	35	48	0,51
K <sub>2</sub> '	2,1	0,23	0,85	1,1	65	130	35	50	0,50
K <sub>3</sub>	2,3	0,34	1,20	1,1	100	220	40	31	0,45
K <sub>3</sub> '	2,0	0,31	0,95	1,4	80	245	50	57	0,33

podría llevarnos a una posible relación de dicho proceso con la enfermedad.

Si se comparan los niveles de los elementos en hojas sanas y en hojas enfermas, se aprecia en éstas últimas un marcado aumento de calcio y una disminución acusada de potasio, fenómeno similar al que se produce con el envejecimiento de las hojas.

Todos los oligoelementos aumentan de nivel en las hojas enfermas, especialmente el hierro y el manganeso, cuyos incrementos son aún mayores con dosis altas de nitrógeno.

## CONCLUSIONES

Se ha puesto de manifiesto la influencia del nitrógeno sobre el desarrollo de la enfermedad cuando las dosis aplicadas fueron superiores a 250 unidades por hectárea.

Los tratamientos de fósforo y potasio parece que no han ejercido ningún efecto sobre la enfermedad. Y si lo ha habido ha sido enmascarado por las altas dosis de nitrógeno aplicadas a los experimentos con dichos elementos. Por consiguiente, para detectar la posible influencia de P y K habría que experimentar aplicando la dosis de N que se ha deducido en este trabajo como la conveniente para mantener un leve ataque del hongo.

Parece que las dosis de nitrógeno que causan un grave ataque de la enfermedad también originan un desequilibrio Fe/Mn, y por consiguiente, una perturbación en los procesos de oxidación-reducción de la planta. Por lo que puede pensarse en una posible relación entre dichos procesos y el desarrollo del hongo.

La enfermedad produce un efecto de envejecimiento de las hojas, en las que se observa un aumento de los niveles de calcio y una disminución de los niveles de potasio.

## RESUMEN

En tres experimentos realizados en pleno campo, se estudia la influencia de los elementos N, P y K sobre el grado de ataque del hongo *Micosphaerella fragariae* en el fresón. El N favorece el desarrollo de la enfermedad cuando se aplica en dosis mayor de 250 unidades por hectárea y año. Los elementos P y K no han ejercido ninguna acción significativa, en las condiciones de nuestros ensayos. El análisis foliar indica que las dosis de N que aumentan la enfermedad guardan relación con el desequilibrio de los elementos Fe y Mn, y, por tanto, con la alteración de los procesos de oxidación-reducción de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BURROW, V. D. 1960. Nature of the resistance of oat varieties to races of oats stem rust. *Nature*, 188, 257-258.
- (2) DÍAS, M. A., BRANDAO, I., CARDOSO, A. S. and CONTREIRAS, I. 1973. Enzyme activities as an index of mineral deficiencies in fruit trees. *Agronomia Lusitana*, 33 (1-4), 185-216.
- (3) GALLEGLY, M. E. and WALKER, J. C. 1949. Plant nutrition in relation to disease development. *Amer. J. Bot.*, 36 (8).
- (4) HERNANDO, V. y CASADO, M. 1972. Influencia de la fertilización sobre la resistencia del fresón «Tioga» a la enfermedad producida por el hongo *Phytophthora fragariae*. IIIer Coloquio Europeo y Mediterráneo sobre el Control de las Plantas Cultivadas. Budapest.

- (5) HERNANDO, V. y CASADO, M. 1974. Clorosis férrica inducida por manganeso en plantas de fresón. Anal. Edaf. y Agro., XXXII, 1-2, 13-24.
- (6) KIRALY, Z. 1964. Effect of nitrogen fertilization on phenol metabolism and stem-rust susceptibility of wheat. Phytopathol., 51, 252-261.
- (7) KREMER, Fr. W. y UNTERSTENHÖFER, 1967. Valoración de ensayos fitosanitarios según el método de Twonsend y Heuberger. Pflanzenschutz/Nachrichten, Bayer, 20/1967, 4, 657-660.
- (8) Mc NEW, G. L. 1953. Plant diseases. The yearbook of agriculture, 100-114.
- (9) SINCLAIR, C. 1969. The level and distribution of amines in barley as affected by potassium nutrition, arginine level, temperature fluctuation and mildew infection. Plant and Soil, 30, 423.
- (10) UNTERSTENHOFER, G. 1963. Las bases para ensayos fitosanitarios de campo. P. Nachrichten Bayer, 16/1963, 3, 89-176.

Recibido para publicación: 29-X-74





# APLICACION DE SULFATO MAGNESICO EN LA CORRECCION DE LOS EFECTOS DE SALINIDAD PRODUCIDOS POR EL CLORURO SODICO EN EL TOMATE

por

M.<sup>a</sup> P. SANCHEZ CONDE

## SUMMARY

### APPLICATION OF $\text{SO}_4\text{Mg}$ TO THE CORRECTION OF SALINITY PRODUCED FOR $\text{ClNa}$ ON THE TOMATO PLANT

The tomato plant are cultivated on hydroponic culture with nutritive solutions added with 0-68-102-136 m. e.  $\text{ClNa}/\text{l}$  solution, and this same solutions every one added with 4-12 and 20 m. e.  $\text{SO}_4\text{Mg}/\text{l}$  solution.

The  $\text{ClNa}$  salt produced very big effects on the development and shape of the leaves. There are a depressive effect on the yields of plants and fruits in the plants cultivated with the more concentrated  $\text{ClNa}$  solutions. In the tomato cultivated with 136 m. e.  $\text{ClNa}$  + 4 m. e.  $\text{SO}_4\text{Mg}$  this depressive effect in the fruit reach the 80,54 %.

The external salinity symptoms disappear in the tomato plants cultivated with the more concentrated solutions.

There are a increase of yields in the tomato fruits cultivated with levels of 12 m. e.  $\text{Mg}$  + 102 m. e.  $\text{ClNa}$ ; 12 m. e.  $\text{Mg}$  + 136 m. e.  $\text{ClNa}$  and 20 m. e.  $\text{Mg}$  + 102 m. e.  $\text{ClNa}$ .

## INTRODUCCIÓN

La incorporación de suelos salinos a la agricultura plantea una serie de problemas que hay que ir resolviendo de una forma individual.

Por una parte, habrá que tener en cuenta la clase de salinidad del suelo, ya que ésta puede ser debida al efecto de sales muy diversas. También, a su vez, habrá que considerar la reacción del vegetal ante este medio exterior, pues la tolerancia de la planta a la salinidad depende tanto de las proporciones y diferentes sales que la producen, como de la planta en sí misma.

La salinidad en algunos suelos puede ser debida a su contenido en cloruros, bien en forma de una sola sal, cloruro sódico, o como mezcla

de varias sales, cloruro sódico, cloruro cálcico, y es precisamente a la salinidad producida con cloruro sódico y posible corrección de los efectos producidos por la misma, mediante aplicación de distintas dosis de sulfato magnésico, la que va a ser objeto de estudio en el presente trabajo.

Simmoneau (4) clasifica las plantas con respecto a su tolerancia en cloruros en:

1. Plantas que toleran mal las concentraciones débiles comprendidas entre 1 y 2 gr. de cloruros totales por litro, incluye en este grupo la fresa y judía.

2. Plantas con tolerancia media, que se adaptan a concentraciones salinas entre 3 y 5 gr. de cloruros totales por litro, habas, guisantes, lechuga.

3. Plantas con una resistencia elevada que soportan concentraciones de 6 a 8 gr. de cloruros totales por litro: berenjena, alcachofa, cardo, zanahoria, tomate.

4. Plantas que resisten a la salinidad y tolerando, aunque bastante mal, concentraciones comprendidas entre 9 y 11 gr. de cloruros por litro: espárrago, remolacha, puerro.

Para llevar a cabo nuestro objeto estudiamos: 1.º los efectos producidos por diversas concentraciones de cloruro sódico sobre la planta; 2.º la acción, sobre la planta, de las distintas dosis de sulfato magnésico que se han de utilizar en los experimentos de salinidad, y 3.º la influencia, que sobre el desarrollo de la planta sometida a diferentes concentraciones de salinidad producida con cloruro sódico tiene el sulfato magnésico en dosis distintas.

#### PARTE EXPERIMENTAL

Para nuestros experimentos hemos elegido la planta de tomate por ser un cultivo de gran interés agrícola nacional, al mismo tiempo que esta planta está clasificada entre aquellas que resisten concentraciones altas de cloruros, por lo cual la podremos someter a tratamientos muy distintos.

Con objeto de evitar las interacciones suelo-planta, realizamos los experimentos en cultivo hidropónico, en tiestos con 8 kg. de sílice a la cual se aplica el tratamiento correspondiente y realizando un perfecto lavado semanal con agua desionizada para evitar posibles acumulaciones de sales que se pudieran producir en la superficie de la sílice y que falsearían la concentración de la solución nutritiva utilizada en cada tratamiento.

Se plantan las semillas directamente en los tiestos; después de la

nascencia se efectúan los riesgos con solución nutritiva normal, que en nuestro caso es la solución Hogland y Snyder (2) y que utilizamos como control en el experimento; se cultivan las plantas con esta solución hasta que tienen una altura de 10 cm., entonces se procede a la aplicación de las soluciones salinas, pero con una concentración del 50 por 100 de la que se va a utilizar en el experimento. A los doce días se les aplica ya el tratamiento definitivo.

Las plantas se cultivan hasta final de su ciclo vegetativo, realizando el experimento en invernadero, de diciembre a marzo. De cada tratamiento se verificaron cuatro repeticiones. Los resultados que aparecen en las tablas son el valor medio de estas cuatro repeticiones. La composición de las soluciones nutritivas utilizadas viene representada en la tabla I. Las presiones osmóticas oscilan entre 0,68 y 5,73 atmósferas.

## RESULTADOS OBTENIDOS

### *Tratamientos con distintas concentraciones de sulfato magnésico*

La solución control, Hoagland y Snyder, contiene 4 m. e. de  $\text{SO}_4\text{Mg}$ /litro de solución nutritiva; en el presente trabajo se ensayan, además, las soluciones de 12 y 20 m. e. de  $\text{SO}_4\text{Mg}$ /l. sol. La concentración total en sales y la presión osmótica de estas soluciones se puede ver en la tabla I.

En el momento de la recolección, las plantas que han sido sometidas a tratamiento de  $\text{SO}_4\text{Mg}$  superior a 4 m. e. de  $\text{SO}_4\text{Mg}$ /l. sol. aparecen con aspecto completamente normal, aunque se aprecia un menor desarrollo de la parte aérea que se acusa perfectamente tanto en su peso húmedo como seco.

Este mismo efecto depresivo en el desarrollo con respecto al aumento de concentración de magnesio en la solución nutritiva, se produce también para la raíz y el fruto, como nos indican los datos de la tabla II.

El descenso mayor en la producción del fruto se produce con 20 m. e.  $\text{SO}_4\text{Mg}$ /l. sol., en que se obtiene un 50,8 por 100 menos que con la solución testigo (tabla III). Los resultados en esta tabla se obtienen para cada serie por comparación con los pesos de las plantas cultivadas en la solución con 4 m. e.  $\text{SO}_4\text{Mg}$ /l. sol.

Con respecto al contenido de elementos en la parte aérea de la planta, señalemos que la influencia de la concentración en magnesio de la solución de cultivo se acusa preferentemente sobre el contenido de calcio de la planta: se produce una franca interacción de estos dos elementos, lo que da como resultado la elevación de los valores de las relaciones  $\text{K}/\text{Ca}$  y  $\text{Mg}/\text{Ca}$  y disminución de la suma  $\text{K} + \text{Ca}$ . Se conserva bastante constante la relación  $\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K}$  (tabla IV).



TABLA I

*Presión osmótica y composición en cloruro sódico y sulfato magnésico de las soluciones utilizadas*

ClNa		SO <sub>4</sub> Mg. 7 H <sub>2</sub> O		Presión osmótica en atmósferas	Total sales gr/l
m. e./l	gr/l	m. e./l	gr./l		
0	0	4	0,49	0,68	1,956
0	0	12	1,47	0,87	2,936
0	0	20	2,45	1,07	3,916
68	3,978	4	0,49	3,17	5,931
68	3,978	12	1,47	3,33	6,914
68	3,978	20	2,45	3,54	7,894
102	5,967	4	0,49	4,39	7,923
102	5,967	12	1,47	4,45	8,903
102	5,967	20	2,45	4,59	9,883
136	7,956	4	0,49	5,53	9,912
136	7,956	12	1,47	5,65	10,892
136	7,956	20	2,45	5,73	11,873

Las soluciones llevan además 0,51 gr/l. de NO<sub>3</sub>K, 0,82 gr/l. de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca ; 0,136 gr/l. de PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> ; microelementos y hierro.

El contenido en los microelementos dosados experimenta un acusado descenso para los dos niveles más altos de magnesio de la solución nutritiva.

La relación Fe/Mn es más elevada en las plantas que poseen más magnesio. Estos valores se representan en la tabla IV.

En general, las plantas cultivadas con 12 m. e. de SO<sub>4</sub>Mg/l. sol. poseen más concentración en casi todos los elementos que las que se obtuvieron en el nivel de 4 m. e. Mg/l. sol., pero este mayor contenido de elementos no se corresponde con un aumento de rendimiento, se ha producido un efecto de concentración al mismo tiempo que un consumo de lujo. Para estas mismas plantas se acusa un fuerte descenso en la relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/PO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

El contenido de nitrógeno de las plantas viene expresado en forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y el de fósforo en forma de PO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

El contenido de elementos en el fruto es muy parecido para las plantas



T A B L A I I

*Pesos de planta y fruto y contenido de humedad producidos en el tomate con distintas concentraciones de ClNa o de SO<sub>4</sub> Mg en la solución nutritiva*

Tratamiento m. e./l		Parte aérea gr.		Raíz gr.		Fruto gr.		% Humedad		
ClNa	SO <sub>4</sub> Mg	P. húm.	P. seco	P. húm.	P. seco	P. húm.	P. seco	P. aérea	Raíz	Fruto
0	4	665,2	85,90	72,25	11,80	795,5	65,42	87,08	84,36	91,77
0	12	617,34	64,10	71,80	8,70	445,3	40,07	89,63	87,88	91,00
0	20	450,05	56,55	60,50	7,25	390,6	36,56	87,43	88,00	90,64
0	4	665,2	85,90	72,25	11,80	795,5	65,42	87,08	84,36	93,29
68	4	429,6	42,10	32,15	3,60	326,4	35,79	90,20	88,80	89,03
102	4	339,7	32,75	28,05	2,85	169,8	20,18	90,36	89,83	88,11
136	4	339,7	28,60	36,75	3,75	154,75	17,16	91,58	89,79	88,91

obtenidas con 12 y 20 m. e. de SO<sub>4</sub>Mg/l. sol. Entre éstas y las producidas con 4 m. e. SO<sub>4</sub>Mg/l. sol. las diferencias que más se acusan son para el contenido en N y Mg (tabla V).

Comparando el contenido de elementos en las plantas y frutos, se aprecia una mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el fruto que en la parte aérea de la planta.

Habíamos señalado anteriormente que en la planta se acusaba perfectamente la cantidad de magnesio aplicada al cultivo, y esto no sucede para el fruto, pues aunque sí se produce un ligero aumento del contenido de este elemento entre los dos niveles más bajos utilizados, para el nivel más alto empleado los frutos no poseen más magnesio. Parece como si se hubiera producido un bloqueo de este elemento en la parte aérea de la planta. En general, la composición del fruto experimenta solamente ligeras variaciones con el cambio de la concentración de magnesio del medio de cultivo.

*Soluciones con distintas concentraciones de ClNa y 4 m. e. de SO<sub>4</sub>Mg/l. sol.*

En el momento de la recolección, las plantas que se cultivaron con 0 m. e. de ClNa y las obtenidas con 68 m. e. ClNa/l. sol. presentan aspecto normal, pero las obtenidas con los otros niveles de ClNa utilizados presentan síntomas sumamente característicos, los folíolos de las

TABLA III

*Efecto producido en los pesos de parte aérea, raíz y fruto de la planta de tomate, por la concentración de ClNa o de SO<sub>4</sub>Mg de la solución nutritiva*

Tratamiento m. e./l		Parte aérea				R a í z				F r u t o			
ClNa	SO <sub>4</sub> Mg	P. húmedo		P. seco		P. húmedo		P. seco		P. húmedo		P. seco	
		— Δ	— % Δ	— Δ	— % Δ	— Δ	— % Δ	— Δ	— % Δ	— Δ	— % Δ	— Δ	— % Δ
0	12	47,86	7,19	21,80	25,37	0,45	0,62	2,6	23,27	350,2	44,02	25,35	38,74
0	20	215,15	32,23	29,35	34,16	11,75	16,26	4,05	35,84	404,9	50,89	28,86	44,11
68	4	235,6	35,40	43,80	50,98	40,10	55,50	7,70	68,14	469,1	58,96	29,6	45,09
102	4	325,5	48,93	53,15	61,87	44,20	61,17	8,45	74,72	625,7	78,65	45,24	69,15
136	4	325,5	48,93	57,30	66,70	35,50	49,13	7,55	66,81	640,75	80,54	48,26	73,76

Δ = incremento.

TABLA IV

Contenido mineral de las plantas tratadas con sulfato magnésico o con cloruro sódico

Tratamiento m. e./l		m. e. por 100 gr. muestra seca						p. p. m.			Relaciones entre cationes y aniones									
Na	Mg	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe	Mn	Zn	Σ A	Σ C	C/A	K/Ca	Mg/Ca	K+Ca	$\frac{Ca+Mg}{K}$	$\frac{Ca+Mg}{K+Na}$	$\frac{NO_3^-}{PO_4}$	Fe/Mn
0	4	128,6	19,4	74,1	140,2	97,0	2,1	117	49	90	148,0	313,4	2,11	0,52	0,69	214	3,68	3,58	6,6	2,38
0	12	135,7	33,9	77,5	89,3	165,3	1,3	106	41	50	169,6	333,4	1,91	0,86	1,85	166	3,28	3,23	4,0	5,58
0	20	124,9	19,4	72,4	69,3	219,6	1,7	118	33	41	144,3	363,0	2,51	1,04	3,16	142	3,99	3,90	6,4	3,03
68	4	103,6	21,3	40,9	85,8	55,1	211,4	106	43	42	124,9	393,2	3,14	0,47	0,64	127	3,44	0,47	4,9	2,46
102	4	111,1	30,0	50,6	73,9	36,1	263,6	87	42	111	141,1	434,2	3,07	0,68	0,62	125	2,37	0,38	3,7	2,07
136	4	113,6	30,0	39,1	73,9	48,3	323,6	99	42	87	143,6	487,1	3,32	0,52	0,65	113	3,13	0,31	3,8	2,35

TABLA V

Contenido mineral del fruto

Tratamiento m. e./l		m. e. por 100 gr. muestra seca						p. p. m.			Relaciones entre cationes y aniones									
Na	Mg	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe	Mn	Zn	Σ A	Σ C	C/A	K/Ca	Mg/Ca	K+Ca	$\frac{Ca+Mg}{K}$	$\frac{Ca+Mg}{K+Na}$	$\frac{NO_3^-}{PO_4}$	F/Mn
0	4	135,7	36,8	94,6	4,9	14,0	0,6	36	15	25	172,5	114,2	0,66	13,95	2,80	99,6	0,20	0,19	3,7	2,4
0	12	121,4	37,8	92,1	3,9	16,4	0,5	45	10	20	159,2	113,0	0,71	23,07	4,10	96,0	0,22	0,22	3,2	4,5
0	20	121,4	37,8	94,6	2,7	16,4	0,5	37	10	20	159,2	114,3	0,71	34,52	6,00	97,3	0,20	0,20	3,2	3,7
68	4	146,4	37,8	102,3	2,9	14,0	17,0	30	10	20	184,2	136,2	0,73	34,20	4,67	105,3	0,16	0,14	3,9	3,0
102	4	171,4	41,6	104,8	2,9	14,0	9,6	35	12	27	213,0	131,0	0,64	35,06	4,67	107,7	0,16	0,14	4,1	2,9
136	4	182,1	46,5	112,5	3,2	15,6	16,0	40	12	25	228,6	147,5	0,64	34,72	4,82	115,7	0,16	0,14	3,9	3,3

hojas se doblan por el nervio principal, al mismo tiempo que se abarquillan sobre su nervio y se abomba globularmente su limbo, presentando toda la hoja un aspecto como rizado y arracimado como se aprecia en la fotografía núm. 1. Este fenómeno va acompañado de la presencia de una fuerte clorosis en las hojas bajas de la planta que no presentan un abombamiento tan acusado como las hojas jóvenes.

Todos los síntomas que señalamos están más acentuados para las plantas de las soluciones con 136 m. e.  $\text{ClNa/l. sol.}$ , en las cuales se llega a acusar la clorosis hasta en las hojas de cerca de los brotes. Las hojas inferiores de la planta se secaron y cayeron.

El efecto depresivo del  $\text{ClNa}$  en la planta se acusa también para los frutos, en los cuales el peso producido con la solución de 136 m. e.  $\text{ClNa/l. sol.}$  tiene una gran diferencia con los obtenidos en la solución control, llegando a producirse en el rendimiento un descenso del 80,54 por 100 (tabla III).

En la parte aérea el contenido en fósforo es mucho mayor para las plantas cultivadas en soluciones con concentraciones altas de sodio, aunque parece ser que se llega a un contenido de fósforo (30 m. e.  $\text{PO}_4^{=}$ ) que no se sobrepasa a pesar de aumentar la concentración en  $\text{ClNa}$  de la solución de cultivo (tabla IV). Se acusa la influencia del sodio del medio de cultivo en el contenido de magnesio en las plantas, una mayor cantidad de Na en la solución nutritiva se corresponde con una disminución de magnesio en la planta. La relación C/A experimenta una gran elevación en las plantas tratadas con  $\text{ClNa}$  respecto a las plantas testigo. Asimismo, la relación cationes divalentes/cationes monovalentes ( $\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K} + \text{Na}$ ) es también mucho menor para las plantas salinas que para las plantas testigo, pero no se acusan diferencias grandes para las plantas con distintos tratamientos de  $\text{ClNa}$ .

La relación  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{=}$  experimenta un descenso muy acusado en las plantas cultivadas con  $\text{ClNa}$  respecto a aquellas que lo fueron con la solución control.

En general la mayoría de las relaciones catiónicas y diferentes sumas parciales de los mismos no acusan diferencias fundamentales para las plantas de los cultivos salinos comparadas entre sí, pero generalmente son muy distintas de las que tienen las plantas testigo.

Las plantas cultivadas en medio salino poseen menos concentración en microelementos que las plantas testigo, pero no se ve una relación clara entre el contenido de sodio del medio de cultivo y el de microelementos de la planta.

Para el fruto (tabla V) su contenido en nitrógeno, fósforo y potasio experimenta un aumento al ser más elevada la concentración en sodio de la solución de cultivo, siendo además su contenido en estos elementos más elevada que en la parte aérea de la planta; por el contrario, su contenido en calcio, magnesio, y, sobre todo, en sodio, es mucho menor que en la planta.





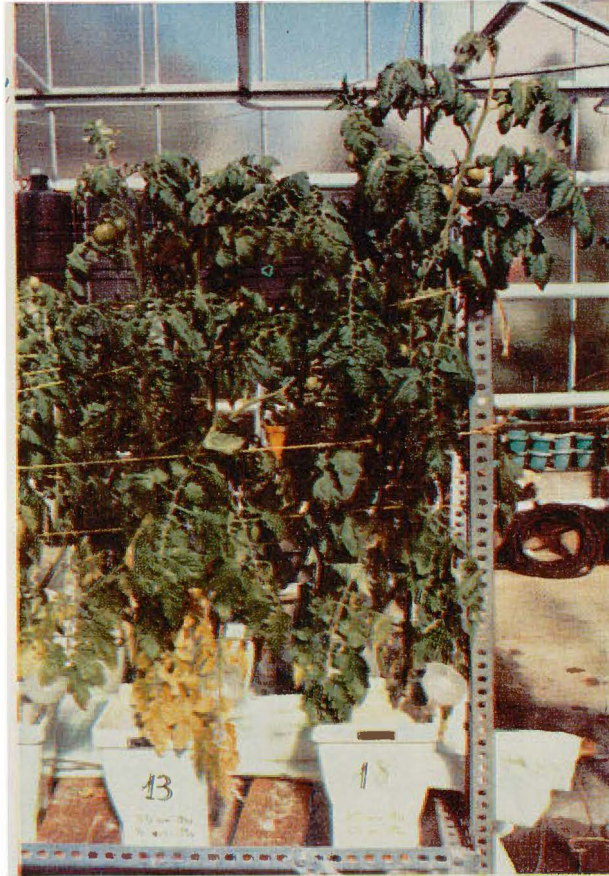
Fotografía 1.—Aspecto de las hojas de la planta de tomate cultivada con 136 m. e. de  $\text{ClNa}$ /litro de solución.

*Soluciones con diferentes concentraciones de  $\text{ClNa}$  y de  $\text{SO}_4\text{Mg}$*

Se utilizan concentraciones de 68-102 y 136 m. e. de  $\text{ClNa}$ /l. sol. combinadas con concentraciones de 4-12 y 20 m. e.  $\text{SO}_4\text{Mg}$ /l. sol. como queda indicado en la tabla I.

En el momento de la recolección, las plantas cultivadas con 68 m. e. de  $\text{ClNa}$ /l. sol. presentan todas ellas aspecto normal para los diferentes niveles de magnesio que se ensayaron.

Las plantas tratadas con 102 m. e.  $\text{ClNa}$ /l. sol. y 4 m. e.  $\text{Mg}$ /l. sol. presentan los síntomas característicos de salinidad, abarquillamiento y abombamiento de las hojas, clorosis en las primeras hojas, y el resto con algunas zonas ligeramente amarillentas, pero al aumentar el mag-



Fotografía 2.—Desaparición de clorosis, plantas de la derecha, por aplicación de 20 m. e. de Mg/l. sol. a las plantas tratadas con 102 m. e. de ClNa/l. sol., plantas de la izquierda.

nesio de la solución (12 m. e.) no se acusan tanto los síntomas de salinidad como en el tratamiento anterior, pues las hojas bajas no presentan tanta clorosis, disminuyendo el aspecto globular de las hojas. Cuando se aumenta la concentración de magnesio de la solución a 20 m. e. se produce la desaparición de clorosis de las hojas bajas y disminuye tanto el aspecto globular de las hojas que éstas aparecen con su superficie extendida casi como en las plantas testigo (fotografía 2) (\*).

(\*) Existe un error en los carteles de la fotografía, los 30 m. e. de Na que aparecen en la misma son c. c. de la solución de ClNa que se ha utilizado y corresponden a 102 m. e. de Na/l. sol.

Para las soluciones con 68 m. e. ClNa/l. sol. el peso de la planta y el del fruto no aumenta al cultivar la planta con soluciones de más concentración en magnesio (tabla VI), sino que, por el contrario, se produce un efecto depresivo en el desarrollo (tabla VII). En las plantas cultivadas con concentraciones de 102 m. e. ClNa/l. sol. se aprecia perfectamente el efecto beneficioso del magnesio en el peso aéreo de la planta, pero donde más se acusa este efecto es en el peso de fruto producido, pues se llega a obtener un aumento del 40,1 por 100 para las soluciones con 20 m. e. de magnesio con respecto a las plantas obtenidas con 4 m. e. de magnesio.

TABLA VI

*Pesos de planta y fruto y contenido de humedad producidos en el tomate con distintas concentraciones de ClNa o de SO<sub>4</sub>Mg en la solución nutritiva*

Tratamiento m. e./l		Parte aérea gr		Raíz gr.		Fruto gr.		% Humedad		
ClNa	SO <sub>4</sub> Mg	P. húm.	P. seco	P. húm.	P. seco	P. húm.	P. seco	P. aérea	Raíz	Fruto
68	4	429,6	42,1	32,15	3,6	326,4	35,79	90,20	88,80	89,03
68	12	375,9	41,2	40,8	4,05	216,55	32,21	88,91	90,08	85,12
68	20	379,1	42,45	49,65	4,9	279,15	31,11	88,80	90,13	88,85
102	4	339,7	32,75	28,05	2,85	169,8	20,18	90,36	89,83	88,11
102	12	340,35	29,95	30,55	3,00	211,95	23,01	91,31	90,18	89,14
102	20	346,5	33,7	42,75	4,9	237,9	28,46	90,27	88,53	88,03
136	4	339,7	28,60	36,75	3,75	154,75	17,16	91,58	89,79	88,91
136	12	250,8	20,15	20,25	2,25	194,25	20,28	91,96	88,88	89,55
136	20	262,25	21,45	16,5	1,8	152,2	16,44	91,82	89,09	89,19

En las plantas cultivadas con 136 m. e. de ClNa no se produce aumento de peso de la parte aérea al aplicar diferentes dosis de magnesio, pero el efecto beneficioso del mismo se produce para el fruto con la concentración de 12 m. e. de magnesio para la cual el aumento de peso del fruto es del 25,52 por 100.

El desarrollo de la raíz se ve favorecido para todos los niveles de magnesio con las concentraciones de 68 y 102 m. e. de ClNa.

Se acusa un ligero aumento del contenido de humedad para la parte aérea de la planta a medida que ésta va siendo cultivada en un medio con mayor concentración en ClNa.

TABLA VII

Efecto producido en los pesos de parte aérea, raíz y fruto de la planta de tomate, por la concentración de  $ClNa + SO_4Mg$  del medio de cultivo

Tratamiento m. e./l		Parte aérea				Raíz				Fruto			
ClNa	SO <sub>4</sub> Mg	P. húmedo		P. seco		P. húmedo		P. seco		P. húmedo		P. seco	
		Δ	% Δ	Δ	% Δ	Δ	% Δ	Δ	% Δ	Δ	% Δ	Δ	% Δ
68	12	-53,65	-12,48	-0,4	-0,95	8,65	26,90	0,45	12,50	-109,85	-33,65	-3,58	-10,00
68	20	-50,50	-11,75	0,35	0,83	17,5	54,43	1,30	36,11	-47,25	-14,47	-4,68	-3,07
102	12	0,65	0,19	-2,8	-8,54	2,5	8,91	0,15	5,26	42,15	24,82	2,83	14,04
102	20	6,8	2,0	0,95	2,93	14,9	52,40	2,05	71,92	68,10	40,10	8,28	41,03
136	12	-88,9	-26,17	-8,45	-29,54	-16,5	-44,89	-1,15	-30,66	39,50	25,52	3,12	18,18
136	20	-77,45	-22,79	-7,15	-25,00	-20,25	-55,10	-2,65	-70,66	-2,55	-1,64	-0,72	-4,10

Δ = incremento,



Con respecto a la absorción de elementos (tabla VIII), destaquemos como dato fundamental la gran disminución del contenido en sodio de las plantas para cada una de las concentraciones utilizadas de sodio, a medida que aumenta el contenido de magnesio de la solución utilizada. La corrección mayor en la absorción de sodio se produce para las plantas cultivadas en la solución de 102 m. e. de  $\text{ClNa}$  y 20 m. e. de  $\text{SO}_4\text{Mg}$ , que es precisamente donde hemos visto que se obtiene un aumento de rendimiento en fruto del 40,1 por 100.

En todos los tratamientos se produce la influencia del magnesio en la absorción del calcio, lo cual viene acusado en los valores que adquiere la relación  $\text{Mg}/\text{Ca}$ .

Parece acusarse un ligero aumento en la relación  $\text{K}/\text{Na}$  para una misma concentración de sodio y niveles más altos de magnesio de la solución nutritiva. La concentración de sodio del medio de cultivo disminuye sensiblemente la relación  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^-$  de la planta.

El menor contenido en potasio lo tienen las plantas que se cultivaron con 136 m. e.  $\text{ClNa}$ .

#### *Contenido mineral del fruto*

Para plantas cultivadas con una misma concentración de sodio, el contenido de nitrógeno y fósforo en el fruto experimenta una disminución al aplicar dosis más altas de magnesio al cultivo. Para los demás elementos se producen oscilaciones que en la mayoría de ellos parecen acusar también una disminución al aplicar más magnesio al cultivo. Desde luego, lo que se manifiesta claramente es que la riqueza del fruto en nitrógeno, fósforo y potasio es mayor que en la parte aérea de la planta, mientras que su contenido en calcio, magnesio y sodio es mucho menor (tabla IX).

#### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El efecto que sobre el tomate produce la aplicación, independientemente de distintas concentraciones de magnesio al medio de cultivo, no se acusa visualmente en el aspecto de la planta, pero el análisis demuestra el distinto contenido de elementos minerales y relación de los mismos que poseen las plantas que se cultivaron con dosis altas de magnesio, en comparación con aquellas que se produjeron en soluciones de concentración normal de este elemento. Estas alteraciones en la composición de la planta dan como resultado la disminución considerable de peso de parte aérea (tabla II) y de fruto que se produce sobre todo con 20 m. e. de  $\text{Mg}/\text{l. sol.}$ , que es la máxima concentración de magnesio que se ha utilizado.

T A B L A V I I I

*Contenido mineral de la planta sometida a distintas dosis de sulfato magnésico y cloruro sódico*

Tratamiento m. e / l		m. e. por 100 gr materia seca						p. p. m			Σ A	Σ C	C/A	K/Na	Mg Ca	Mg Na	Mg PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup> Fe	Fe Mn	Zn Mn
Na	Mg	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe	Mn	Zn											
68	4	103,6	21,3	40,9	85,8	55,1	211,4	106	43	42	124,9	393,2	3,14	0,19	0,64	0,26	2,5	4,8	0,20	2,46	0,97
68	12	107,1	23,2	40,9	67,4	243,4	140,9	73	50	34	130,3	492,6	3,77	0,29	3,61	1,72	10,4	4,6	0,31	1,46	0,68
68	20	99,9	23,2	43,5	49,4	126,7	135,7	106	45	46	123,1	355,3	2,88	0,32	2,56	0,93	5,4	4,3	0,21	2,35	1,02
102	4	111,1	30,0	50,6	73,9	46,1	263,6	87	42	111	141,7	434,2	3,07	0,19	0,62	0,17	1,5	3,7	0,34	2,07	2,61
102	12	112,9	30,0	52,9	65,4	100,3	257,1	109	52	85	142,9	475,7	3,32	0,20	1,53	0,39	3,3	3,7	0,27	2,09	1,63
102	20	110,7	29,0	45,8	54,9	152,9	72,2	99	51	63	139,7	325,8	2,83	0,63	2,79	2,11	5,2	3,8	0,29	1,94	1,23
136	4	113,6	30,0	39,1	73,9	48,5	323,6	99	41	87	143,6	478,6	3,32	0,12	0,65	0,14	1,6	3,8	0,30	2,35	2,07
136	12	107,1	33,9	26,6	68,4	96,2	297,5	122	49	86	141,0	488,7	3,46	0,08	1,40	0,32	2,8	3,2	0,27	2,48	1,75
136	20	101,4	32,0	30,9	56,4	119,2	265,3	134	59	100	133,4	471,8	3,53	0,11	2,11	0,44	3,7	3,2	0,23	2,27	1,69

T A B L A I X

## Contenido mineral del fruto

Tratamiento m. e./l		m. e. por 100 gr. muestraseca						p. p. m.			$\Sigma A$	$\Sigma C$	C/A	K/Na	Mg/Na	$\frac{NO_3^-}{PO_4^{3-}}$	$\frac{Fe}{Mn}$	$\frac{Zn}{Mn}$
Na	Mg	$NO_3^-$	$PO_4^{3-}$	$K^+$	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	Fe	Mn	Zn								
68	4	146,4	37,8	102,3	3,0	14,0	17,0	30	10	20	184,2	136,2	0,73	6,02	0,85	3,9	3,0	2,0
68	12	128,6	38,7	97,2	2,5	14,0	12,6	32	10	17	167,3	126,2	0,75	7,86	1,10	3,3	3,2	1,7
68	20	142,8	37,8	99,7	2,7	16,4	11,7	27	10	20	180,6	130,6	0,72	8,49	1,40	3,8	2,7	2,0
102	4	171,4	41,6	104,8	3,0	14,0	9,6	35	12	27	213,0	131,4	0,61	10,95	1,46	4,1	2,9	2,2
102	12	174,9	44,5	96,4	3,2	18,1	9,6	25	10	25	219,5	125,5	0,57	9,87	1,89	3,9	2,5	2,5
102	20	146,4	37,8	102,3	2,5	14,8	17,0	25	10	20	184,2	136,5	0,74	6,03	0,87	3,8	2,5	2,0
136	4	182,1	46,5	112,5	3,2	15,6	16,1	40	12	25	228,6	147,5	0,64	6,99	0,97	3,9	3,3	2,0
136	12	135,7	41,6	104,8	3,0	15,6	20,0	25	10	25	177,2	143,5	0,80	5,23	0,78	3,3	2,5	2,5
136	20	139,3	42,6	107,4	2,5	16,4	15,2	32	12	27	181,9	141,5	0,77	7,05	1,08	3,3	2,6	2,2

El efecto depresivo en el desarrollo de la planta, peso del fruto, y en el aspecto foliar se observa perfectamente en las plantas producidas con solución nutritiva de 4 m. e. Mg/l. sol. y diferentes cantidades de cloruro sódico (tabla II). Este efecto es debido a las variaciones que experimentan las distintas relaciones aniónicas y catiónicas como consecuencia del gran contenido de sodio de la planta. Las plantas cultivadas en soluciones salinas tienen un contenido de calcio y potasio más bajo que las plantas testigo.

Se pone patente la interacción entre el sodio y el potasio, pero además la acción de la concentración del medio exterior se manifiesta también sobre el calcio y el magnesio, y la absorción de los mismos queda disminuida al aumentar el cloruro sódico de la solución nutritiva.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, parece un contrasentido el que la suma de cationes de la planta aumente al ser cultivada en soluciones más concentradas en sodio, ya que la suma de  $K + Ca + Mg$  disminuye a medida que aumenta la concentración de cloruro sódico del medio de cultivo, pero teniendo en cuenta las grandes variaciones que experimenta el contenido de sodio de las plantas se puede deducir cómo es debido al sodio de las mismas los valores elevados que adquiere la suma de cationes en las plantas.

Por otra parte, al aumentar la salinidad en cloruros del medio de cultivo, también se produce para el tomate, como indica Strogonov (5) para el algodón, una menor absorción de nitratos.

Los elementos que más directamente intervienen en la función clorofílica son el magnesio, fósforo y nitrógeno; por tanto, la variación de las relaciones de los mismos dentro de las plantas se puede manifestar exteriormente por unos síntomas, que como hemos visto en este caso son el amarillento más o menos acentuado de las hojas; así encontramos que la relación  $Mg/PO_4^{=}$  es muy pequeña (menor de 2) para aquellas plantas que presentan aspecto clorótico; la clorosis disminuye a medida que aumenta la relación. En las plantas que producen mayor rendimiento, esta relación se aproxima mucho al valor que tienen las plantas testigo (5,0). Puede, por tanto, ser esta relación  $Mg/PO_4^{=}$  un índice del estado clorótico de las plantas de tomate producidas en condiciones de salinidad de cloruros.

Simoneau (4) indica que la salinidad de cloruros del medio nutritivo reduce la respiración y fotosíntesis; esto nos puede explicar el que las plantas cultivadas con cantidades normales de magnesio presenten los síntomas de clorosis y posean valores bajos para la relación  $Mg/PO_4^{=}$ , pero cuando la proporción de magnesio aumenta en el cultivo, se produce una activación de la función clorofílica por efecto del magnesio y por tanto se pueden obtener plantas normales con un valor más elevado en la relación  $Mg/PO_4^{=}$ . Por la misma razón, se producen



plantas más fuertemente cloróticas cuando tienen los valores menores la relación Mg/Na.

Parece acusarse una mayor relación  $PO_4^{3-}/Fe$  para las plantas más cloróticas, dato que está de acuerdo con el obtenido por Dekock (1).

Para muchos cultivos existe una correlación entre la relación Fe/Mn de la planta y los síntomas de clorosis de la misma. En el caso del tomate producido en soluciones salinas de cloruro sódico, esta relación no experimenta variación apreciable en las plantas no cloróticas (0 m. e. de ClNa + 4 m. e. Mg y 68 m. e. ClNa + 4 m. e. Mg) con respecto a las cloróticas (102 m. e. ClNa + 4 m. e. Mg y 136 m. e. ClNa + 4 m. e. Mg), lo cual nos indica que para el caso de salinidad de cloruros y planta de tomate esta relación no es un índice de la clorosis que padecen las plantas; por el contrario, podemos observar cómo la clorosis de las plantas de tomate producidas con salinidad de cloruro sódico viene relacionada con una elevación de los valores de la relación C/A y una disminución considerable de la relación  $NO_3^-/PO_4^{3-}$  con respecto a las plantas testigo.

La composición del fruto (tabla IX) se ve afectada según la concentración de cloruros del medio de cultivo; su contenido en nitrógeno, fósforo y potasio aumenta en el fruto con la concentración de cloruro sódico de la solución. También se produce un aumento en el contenido de sodio del fruto, pero en mucha menor proporción que para la parte aérea de la planta, la cual parece actuar como una gran barrera en el transporte de ciertos elementos como sucede para el sodio, mientras, por el contrario, la traslocación de otros se realiza a través de la misma con gran facilidad hacia el fruto, como sucede para el nitrógeno y potasio, elementos fundamentales en la síntesis de proteínas y azúcares.

La acción beneficiosa del magnesio sobre la planta de tomate cultivada con salinidad de cloruros se manifiesta más intensamente sobre el aspecto exterior de la planta que sobre la producción de parte aérea y fruto, ya que, con el mayor nivel de magnesio utilizado (20 m. e. Mg/l. sol.), aparecen las plantas con aspecto casi normal, pero no se produce aumento de peso de parte aérea ni de fruto (tabla VII) en las soluciones con 136 m. e. de ClNa/l. sol.; ahora bien, tenemos que considerar la acción del magnesio sobre el fruto, donde se acusa más la acción del magnesio, ya que con esta misma concentración en sodio, la disminución para la parte aérea ha sido del 22,79 por 100, mientras que para el fruto es solamente de 1,64 por 100. Al mismo tiempo, con el nivel de 12 m. e. de Mg/l. sol. y la concentración más alta de cloruro sódico (136 m. e. ClNa/l. sol.) se produce una disminución de peso de parte aérea del 26,17 por 100, mientras que para el fruto se obtiene un aumento de rendimiento del 25,52 por 100. Estos resultados pueden ser la consecuencia de la barrera que supone la planta (bloqueo) para la traslocación de sodio hacia el fruto, en el cual podemos observar cómo

su contenido en sodio es mucho menor y experimenta menos variaciones con el tratamiento, en comparación con el contenido y variaciones sufridas por este elemento en la planta, para las distintas dosis de cloruro sódico aplicadas.

TABLA X

*Comparación del contenido de elementos minerales de la planta y el fruto con tratamientos de ClNa + SO<sub>4</sub>Mg*

Tratamiento m. e /l		Parte de planta analizada	m. e. por 100 gr. de materia seca					
SO <sub>4</sub> Mg	ClNa		NO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
4	68	Fruto	146,4	37,7	102,2	2,99	13,98	16,95
20	102	»	146,4	37,7	102,2	2,45	14,8	16,95
Diferencia			0,0	0,0	0,0	0,54	0,82	0,0
4	68	Planta	103,6	21,3	40,9	85,8	55,1	211,4
20	102	»	110,7	29,0	45,8	54,9	152,9	72,2
Diferencia			7,1	7,7	4,9	30,9	97,8	139,2
4	102	Fruto	171,4	41,63	104,83	2,99	13,98	9,57
12	136	»	135,6	41,63	104,83	2,99	15,62	20,01
Diferencia			35,8	0,0	0,0	0,0	1,64	10,44
4	102	Planta	111,1	30,0	50,6	73,9	46,1	263,6
12	136	»	107,1	33,9	26,6	68,4	96,2	297,5
Diferencia			4,0	3,9	24,0	5,5	49,9	33,9

Comparando el contenido de elementos minerales dosados en el fruto con los tratamientos sufridos por la planta, se puede observar como, para tratamientos muy diferentes de contenido en magnesio y sodio, los frutos que se producen prácticamente poseen la misma composición mineral, con diferencias muy pequeñas en su contenido en magnesio y sodio; ahora bien, para la planta, las diferencias en su contenido en éstos elementos son muy acusadas, lo cual confirma el efecto de barrera de la planta (bloqueo) para algunos elementos en su transporte hacia el fruto, sobre todo cuando existe un exceso de los mismos en el medio de cultivo (tabla X).

Las deformaciones que se producen en las hojas para las plantas cultivadas con salinidad de cloruros son debidas a la disminución en la longitud y menor división celular observada por Nieman (3).

En el tomate se observa la hidratación de tejidos ya señalada por Strogonov (6) para el algodón cuando se cultiva en salinidad producida por cloruros.

Para las plantas producidas en soluciones de igual concentración de cloruro sódico, parece existir una relación entre la relación Zn/Mn de la parte aérea de la planta y el rendimiento en fruto; cuanto más bajo es el valor de la relación Zn/Mn en la planta, mayor peso de fruto se produce. Ese mayor rendimiento al disminuir la relación Zn/Mn, se debe atribuir a la acción del manganeso sobre la activación de la función clorofílica y los procesos respiratorios de la planta, que habían experimentado una disminución como efecto de la salinidad a que se habían sometido las plantas.

Al aumentar la relación Zn/Mn, se produce una activación también en los procesos metabólicos de la planta, que se traduce en un aumento de producción en el vegetal.

#### CONCLUSIONES

Los resultados de este experimento demuestran que los niveles de 12 m. e. de Mg/l. sol. y superiores a este valor producen una disminución de peso tanto de planta de tomate como de fruto; esta disminución de peso llega a adquirir valores para el fruto de hasta un 50,89 por 100.

Todas las dosis de cloruro sódico aplicadas independientemente al cultivo, producen una disminución en el peso de la planta y del fruto.

Con dosis superiores a 68 m. e. de ClNa/l. sol. se obtienen plantas con los síntomas característicos de los vegetales que padecen salinidad de cloruros. Se manifiestan estos síntomas en la deformación y menor desarrollo de las hojas, así como en la clorosis de las mismas, dependiendo del tratamiento el que esta clorosis sea muy acentuada y casi manifestándose solamente en las hojas inferiores, o no tan marcada, pero extendida a todas las hojas.

No todas las dosis de magnesio aplicadas con las distintas dosis de cloruro sódico ensayadas producen aumento de rendimiento. Hay aumento de producción de frutos, en las dosis de 12 m. e. de Mg + 102 m. e. de ClNa; 20 m. e. de Mg + 102 m. e. de ClNa y 12 m. e. de Mg + + 136 m. e. de ClNa. Este aumento llega a alcanzar el valor del 40,1 por 100.

Los síntomas de salinidad de la planta para una misma concentración de cloruro sódico disminuyen y llegan a desaparecer al aumentar la cantidad de magnesio aplicada al cultivo.



## RESUMEN

Se estudia el efecto del  $\text{SO}_4\text{Mg}$  sobre plantas de tomate, sometidas a salinidad de cloruro sódico.

Para evitar la interferencia del suelo se realizan los experimentos en cultivos hidropónicos. Cada tratamiento se efectúa por cuadruplicado. Los resultados que aparecen en el trabajo son el valor medio de estas repeticiones.

Se aplican, independientemente, niveles de 0,68-102 y 136 m. e. de  $\text{ClNa}/\text{l. sol.}$  con objeto de estudiar los efectos que los mismos producen en las plantas, y estos mismos niveles combinados cada uno de ellos con 4-12 y 20 m. e.  $\text{SO}_4\text{Mg}/\text{l. sol.}$  para ver el efecto de las dosis de magnesio sobre el desarrollo y rendimiento de la planta.

El  $\text{ClNa}$  produce efectos muy acusados en el desarrollo y forma de las hojas de la planta, al mismo tiempo que un marcado descenso en la producción del fruto que llega a adquirir el valor del 80,54 por 100. Los síntomas externos de salinidad llegan a desaparecer al aumentar las dosis de magnesio ensayadas.

La dosis de 12 m. e. de magnesio para 102 y 136 m. e. de  $\text{ClNa}$  y la dosis de 20 m. e. de  $\text{Mg}$  con 102 m. e. de  $\text{ClNa}$  producen aumento de rendimiento cuyo valor máximo alcanza el 40,1 por 100.

*Instituto de Edafología y Biología Vegetal.  
Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Madrid.*

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) DEKOCK, P. C. and H. ANDERSON. 1955. Relation du phosphore et du fer dans la chlorose génétique. *Plant Physiol.*, **30**, 293-295.
- (2) HEWITT, E. J. 1952. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition- Farhan Royal. *Commenwealt Agricultural Bureaux.*
- (3) NIEMAN, R. H. 1965. Expansion of bean leaves and its suppression by salinity. *Plant Physiol.*, 156-161.
- (4) SIMMONEAU, P. et AUBERT, G. 1963. L'utilisation des aux salées au Sahara. *Ann. Agron.*, **14**, 859-872.
- (5) STROGONOV, P. B. 1965. Salt tolerance of cotton on soils varyng in salt composition. *Soviet Soil Sci.*, 1140-1145.
- (6) STROGONOV, P. B. 1964. — Physiological basis of salt tolerance of plants. *Israel Program for Scientific Translations.*

Recibido para publicación: 31-X-74



# RELATED DISTRIBUTION PATTERNS IN SOILS AND THEIR SIGNIFICANCE

by

H. ESWARAN \* and C. BAÑOS \*\*

## RESUMEN

### MODELOS DE DISTRIBUCION RELACIONADA EN SUELOS Y SU SIGNIFICADO

Los modelos de distribución relacionada son parámetros micromorfológicos de gran importancia en los estudios edafogénicos. Se consideran dos grupos: uno constituido por *modelos de distribución relacionada normal* (básica), y otro por *modelos de distribución relacionada específica*, dependiendo de la función del plasma. Dentro de cada grupo se han determinado varios tipos, definiéndose cada uno de ellos. Se establece, en diagrama triangular, la correlación entre granulometría y distribución relacionada básica (normal. «NRDP»). Se presentan ejemplos de suelos donde ocurren ambos grupos, ilustrándose algunos de ellos.

## INTRODUCTION

The concept of the related distribution pattern (RDP) in Soil Micromorphology was introduced by Brewer (1964) who considered it as the «distribution pattern of like individuals with regard to the distribution of individuals of a different kind». In this concept both the ratio of plasma to skeleton grains (e. g. granular and porphyroskelic) and specific arrangement patterns of the plasma with respect to the skeleton grains (e. g. agglomeroplasmic and intertextic) are considered, following Kubiëna (1938). Since the contribution of Brewer, more RDP's are recognised, e. g. phytic (Eswaran et al., 1969) and argillamatrix (Eswaran, 1972; Bellinfante et al., 1974). These latter ad hoc suggestions are the result of the study of a wider range of soil materials. Reviewing the situation, the authors felt the need for a more systematic terminology and this forms the objective of this paper.

---

(\*) Geological Institute, Ghent (Belgium).

(\*\*) Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. C. S. I. C., Sevilla (Spain).

Stoops et al. (1974), confronted with a similar situation proposed the «c/f related distribution» and defined it as «the c/f related distribution expresses the distribution of individual particles with relation to finer material and associated voids not included in the particles». In this concept, size limits of the particles is left to decision of the user.

The concepts and terminology developed here are purely for pedological purposes and not for other uses of the Micromorphological techniques as envisaged by Stoops et al. (1974). It is the intention here to relate micromorphological properties of the soil to the pedological properties. Related distribution patterns are one of the micromorphological parameters that can be employed to evaluate soils and soil genesis.

### C O N C E P T S

The pedon (USDA, 1974) is the smallest volume that is recognised as soil individual. The vertical section of the pedon is the soil profile which is composed of horizons. A thin-section is a sample of a horizon. The basic descriptive unit is the s-matrix which is «the material within the simplest (primary) peds, or composing apedal soil materials, in which the pedological features occur; it consists of the plasma, skeleton grains and voids that do not occur in pedological features other than plasma separations» (Brewer, 1964).

The plasma, grains and voids are the three basic components of the s-matrix. The pedological features are a result of a specific combination or arrangement of one or more of the components. The concept of the plasma and grains differ from that of Brewer's and so is given in detail.

#### *The plasma*

The plasma is the colloidal fraction of the soil which may be mineral or organic. This is the most active component of the soil material and is capable of reorganisation, translocation and neoformation. In Soil Taxonomy, soils are classified based on the activity of the plasma or on the characteristics given to the soil by a specific behavior of the plasma. The oxic horizon is one where the chemical activity is low (type of plasma); in the argillic horizon plasma has accumulated by translocation; in the albic horizon plasma has been removed and in the spodic horizon a specific kind of plasma is accumulated. These diagnostic horizons characterise certain groups of soils. So in the choice of parameters for micromorphological indicators of pedogenesis (Eswaran, 1972) study on plasma has important bearing.

Although a colloidal size is specified, individual plasma cannot be seen with the petrographic microscope and even with the scanning electron microscope (SEM) a magnification of more than 10,000 is generally necessary. However, plasma domains are readily discernable. Presence or absence of domains and the size and arrangement of domains are important micromorphological characteristics which will be evaluated in a later contribution.

### *The grain*

The grain is a single particle greater than colloidal size. Fragments of plant remains larger than colloidal size are frequently present in soils especially in the surface horizons. These are recognisable entities and are described as such. Consequently grains will only include the mineral materials.

Grains comprise a range of minerals which are primary or secondary, which vary in solubility, which are or may be present in all stages of transformation and which are present in all size grades. A classification of grains based on these parameters will be useful and may be made when necessary but will not add any additional information than simple descriptive terms. For example, gypsum relative to quartz is a soluble mineral and so a subdivision into soluble and non-soluble minerals or restricting the grains to their resistant properties is an attractive proposition. However, in the context of the Aridisols, where gypsum is most frequent, it is a stable mineral and so the division loses its relevance.

For these reasons the classification of grains is reduced to a minimum. This will not preclude the use of comparative or descriptive terms based on interpretation neofomed quartz, biotite pseudomorph, plasmified feldspar or secondary gypsum. One useful division of grains is into sand and silt size, the limit being 50 microns. This division is petrographically possible and will correspond to textural analysis.

### *The voids*

The voids are empty spaces in thin-sections. A few may be artifacts caused by the preparation of the thin-section. Others show some regularity of shape and configuration that they can be grouped together. Brewer's nomenclature of voids is adhered to.



## RELATED DISTRIBUTION PATTERNS

The components of direct interest here are the plasma and grains; voids being a consequence of the arrangement of the other components.

The two basic aspects of RDP are the proportions of plasma, silt and sand in the s-matrix, and the specific arrangement of the plasma with respect to the other two. The arrangement does not lead to formation of distinct entities in which case they are pedological features. However, the arrangement gives a specific aspect to the s-matrix.

What is the cause of the arrangement patterns? In most cases this is due to pedogenesis; some sedimentary features can also attain such forms. In the absence of pedogenetic influence, there is a random distribution of the plasma, silt and sand; random in the sense that the plasma does not play any specific role in the arrangement of the silt and sand. This is considered as the normal-basic situation and the RDP is termed the Normal Basic Related Distribution Pattern (NRDP). The NRDP does not exclude such features as banded or clustered arrangement of the silt and sand grains as in some sediments. With pedogenesis, the plasma attains a different role. It bridges or coats grains, it aggregates silt and sand or it forms clusters. What the plasma does depends on the type of plasma, the NRDP and the formation stage of the soil. One will argue that this is a genetic división. It is genetic but the resulting micromorphological features are distinct enough to group them as Specific Related Distribution Patterns (SRDP). They are in fact extragrades to NRDP.

*The normal related distribution patterns*

The NRDP's are differentiated on the proportion of plasma to sand to silt. The textural triangle (USDA) is employed for this purpose. This diagram, fig. 1, attempts to relate the texture of the soil to micromorphology.

*Granitic*

Granitic NRDP is characterised by a dominance of sand-sized particles with small amounts of plasma and silt. The associated voids are those resulting from a close packing of sand grains — intergranular voids or simple packing voids. The field textures are commonly sands and loamy sands.

This is a typical related distribution pattern of the albic horizon in some Alfisols and in Psamments. When necessary the name of the



mineral is used as a prefix. e. g. A Psamment has a quartz-granic NRDP; some gypsic horizons have a gypsi-granic NRDP.

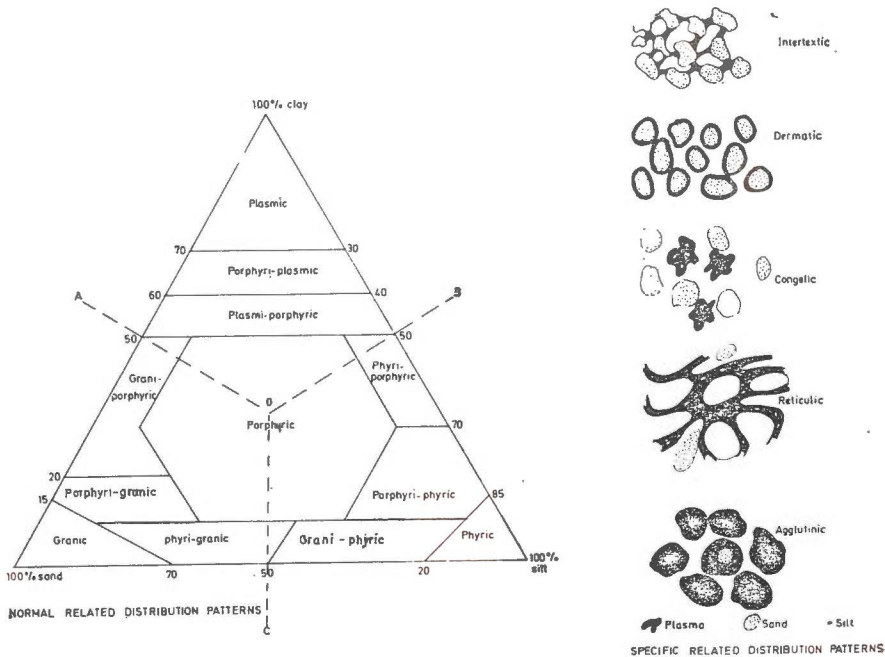


Fig. 1.—Normal (basic) and specific related distribution in soils.

*Phyric*

Phyric NRDP is characterised by a dominance of silt-sized grains with small amounts of plasma and sand. This is a much closer packing than granic; the voids are also intergranular. The field texture is silty and the consistence is compact and firm.

The albic horizon of some fine textured pod sols (Eswaran et al., 1969) typify this NRDP. Sediments composed of silt have this NRDP. Some calcic horizons or calcareous soil materials have a calci-phyric NRDP. Some gibbsic horizons have a gibbsi-phyric NRDP (Plate 1, c).

*Plasmic*

Plasmic NRDP is characterised by a dominance of plasma with small amounts of silt and sand. Voids that are present include vughs, channels, vesicles and planes. The field texture is heavy clay and

this NRDP characterises clayey sediments and highly weathered soils on basic and ultrabasic rocks — Ultisols and Oxisols (Plate 1, a).

This term supercedes the original term — argillamatrix — of Eswaran (1972).

### *Porphyric*

Porphyric NRDP is characterised by an balanced amount of plasma, silt and sand. This NRDP grades to plasmic, phyric or granic when the amount of one of the component exceeds the sum of the other two. The sand frequently appears more prominent and is generally embedded in the s-matrix. A clay loam and loam texture characterise this NRDP. All types of voids may be present.

### *Intergrades*

As shown in fig. 1, eight intergrades are recognised. These are characterised by the dominance of one component over the other. The intergrades are:

1. Phorphyri-plasmic.
2. Plasmiporphyric.
3. Phyriporphyric.
4. Porphyriphyric.
5. Grani-porphyric.
6. Porphyri-granic.
7. Phyri-granic.
8. Grani-phyric.

### PLATE 1

a) *Plasmic* normal related distribution pattern. Dominance of plasma without tendency to aggregate is the characteristic feature. Oxisols with agglutinic SRDP in the upper part of the profile have a plasmic NRDP in the lower.

b) *Agglutinic* specific related distribution pattern. The soil is an Acrorthox. It is a highly weathered soil and the plasma is dominantly sesquioxides with some kaolinite. Grains are few. Aggregation of the plasma to give a highly porous material is a comun feature.

c) *Phyric* normal related distribution pattern. The soil is a Gibbsiorthox. Silt-sized grains of gibbsite form the s-matrix of the gibbsic horizon. There is little or no plasma. The RDP is infact gibbsi-phyric.

d) *Congelic* specific related distribution pattern. The soil is a Andept. The plasmic, clusters are distributed randomly between the grains.

(The white bar on the photos has a length of 0.02 mm.)

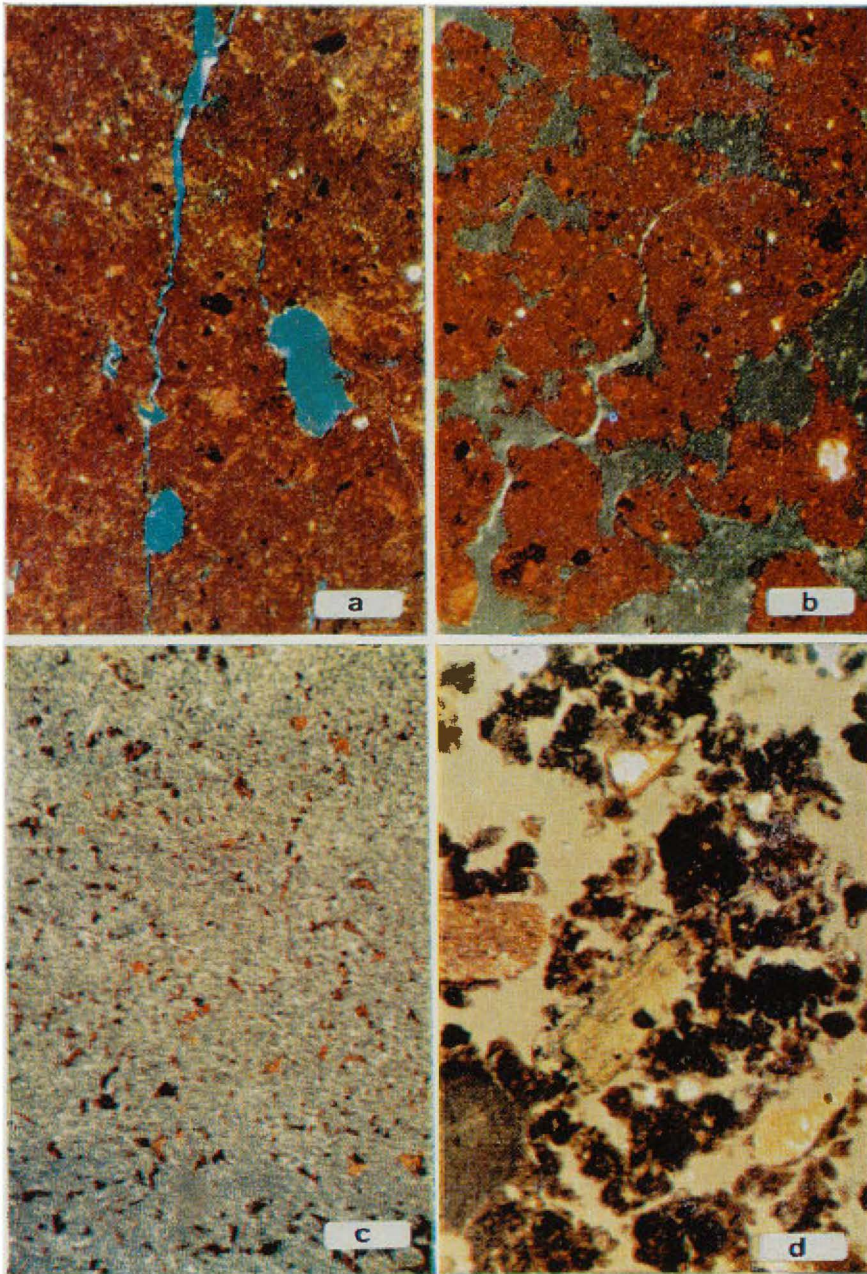


PLATE 1



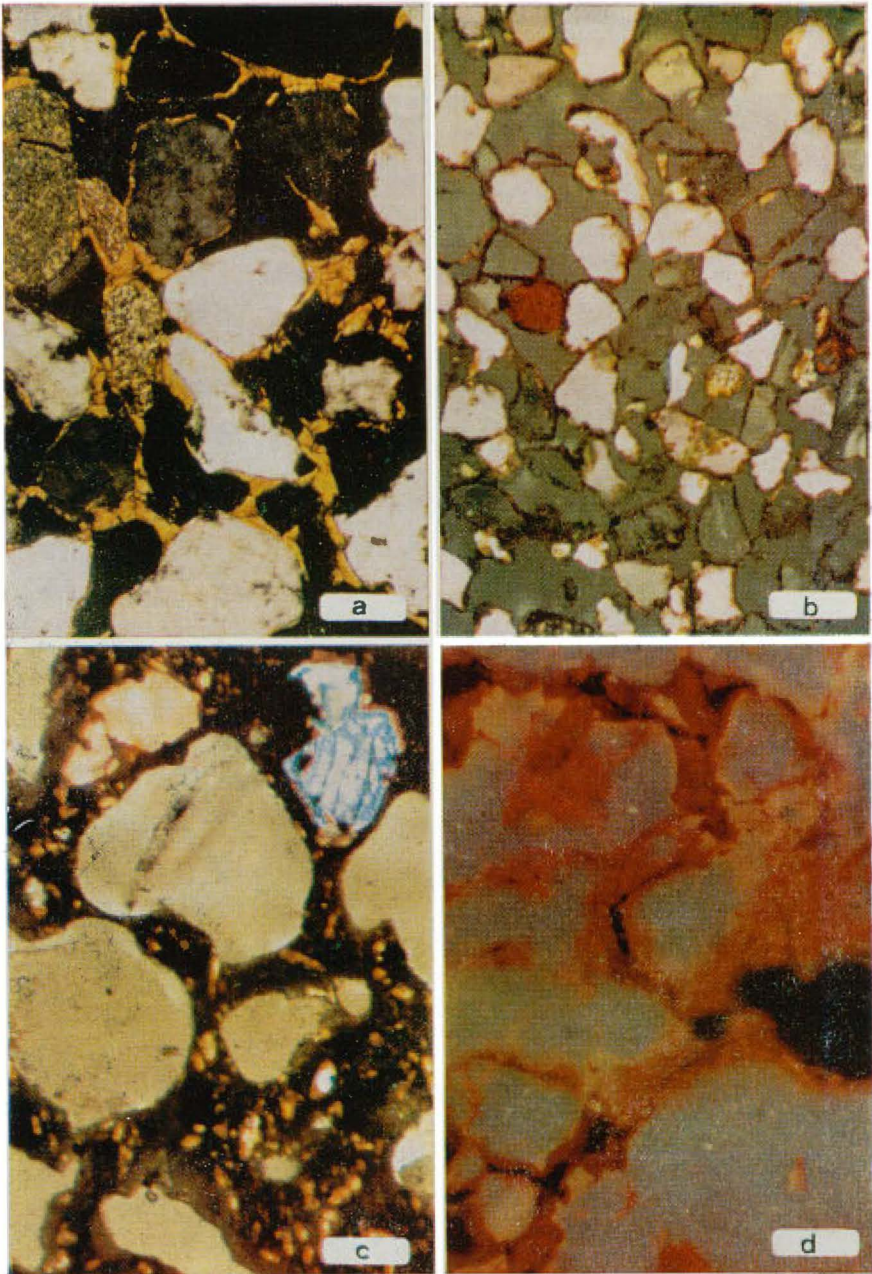


PLATE 2

a) *Intertextic* specific related distribution pattern. This is a typical feature of the argillic horizon on sands. The translocated plasma forms bridges between the grains.

b) *Dermatic* specific related distribution pattern. The spodic horizon in sands shows this. The translocated plasma coats the grains.

c and d) *Reticulic* specific related distribution pattern. Two types are shown. c) is an instance where a vesicular basalt is plasmified without volume changes.

In d), the sesquioxidic plasma attains a reticulic pattern in a plasmic kaolinite mass. This is the normal morphology of plinthite.

(The white bar on the photos has a length of 0.02 mm.)



A second group of intergrades are those where a single s-matrix shows more than one NRDP. For these combinations, the most dominant is indicated last:

«a granic and porphyric» NRDP characterises a s-matrix which is dominantly porphyric but where there are patches of granic.

The texture of the soil as determined by granulometric analysis, gives a first idea of the NRDP. The actual NRDP may not exactly coincide due to localised differentiation in the s-matrix — presence of intergrades — or due to pedogenesis which gives rise to the SRDPs.

### *Specific related distribution patterns*

Due to the properties of the plasma, consequent to pedogenesis, specific related distribution patterns result. In Soil Taxonomy (USDA, 1974), soils which are due to special processes which result in specific morphological traits are grouped together. The macromorphological features have their counterparts in thin-sections and SRDPs are one of them.

Specific related distribution patterns (SRDP) are those which cannot be attributed to the random arrangement of plasma with respect to the silt and sand.

Five SRDPs are recognised for the moment; more will inevitably be added as distinct types are studied.

### *Intertextic*

Intertextic SRDP is one where the plasma forms bridges connecting the sand grains (Brewer ss.). The SRDP is confined to materials with granic NRDP. The field texture is sandy to sandy loam and the consistence is fluffy.

The plasma is generally translocated and this SRDP is usually an early stage of the next type dermatic. The SRDP is present in some spodic and argillic horizons. Many banded textural B horizons on sandy materials show this SRDP (Plate 2, a).

### *Dermatic*

Dermatic SRDP is one where the plasma forms a complete coating around the grains which are usually sand sized (Plate 2, b).

This SRDP is typically associated with sandy materials. In fig. 1, it is confined to the region delimited by AOC and the apex of the triangle but expression becomes indistinct in materials other than granic. For all practical purposes, dermatic is considered to be derived from granic.

The genesis of dermatic SRDP is due to plasma accumulation by translocation in sandy materials. The plasma is both mineral and organic. These transformations are possible in Spodosols and in sandy Alfisols and Ultisols. The micro-pedomorphosis of the s-matrix is examined in greater detail in several soils. Fig. 2, shows the sequence of evolution of the soil and the concomitant changes in the related distribution patterns.

### *Congelic*

Congelic SRDP is one where the plasma aggregates silt-sized materials; the larger grains do not generally participate in the process and so the resulting morphology consists of silt-sized particles aggregated together by plasma and present in between coarser sand-sized particles (Plate 1, d).

The process described above takes place only if the plasma is or was in an amorphous state or has a significant amount of amorphous colloids and the NRDP must be phytic. If only sand and amorphous plasma are present, a dermatic SRDP results. The previous conditions are present in groups of soils such as:

Spodosols on fine textured materials and in Andosols or Andepts.

The NRDP of the parent materials is generally in the region BOC (fig. 1) but is best expressed in soils with phytic NRDP-intergrades.

In Spodosols on silty parent materials, the translocated amorphous plasma aggregates the silt particles leading to the conglitic SRDP. This was studied by Eswaran et al. (1969). In the field, the  $B_{2ir}$  horizon which shows this SRDP is spongy and fluffy whilst the overlying  $A_2$  which has a phytic-granic NRDP is compact. Roots of plants pass through the  $A_2$  and proliferate in the more porous  $B_{2ir}$ .

In Andepts, the allophane behaves similarly and the field consistence is similar. The high porosity and rapid internal permeability of these soils or horizons is explained by the formation of the SRDP.

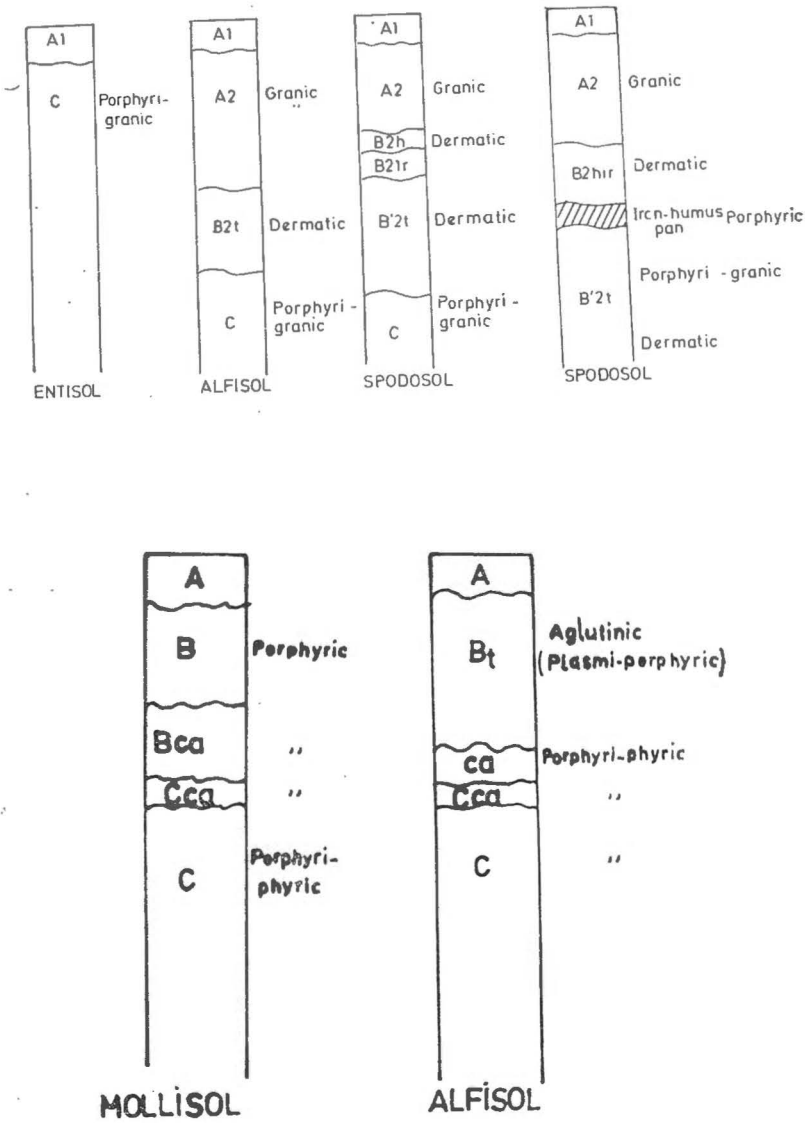


Fig. 2.—Changes in related distribution patterns as a function of evolution of the soils: a) developed on sandy materials. b) Developed on Quaternary calcareous sediments.

### *Agglutinic*

Agglutinic SRDP is one where the plasma is aggregated together into sand or silt sized aggregates incorporating any silt or sand grains (Plate 1, b).

The processes involved are similar to the ones leading to the conglutic SRDP; the difference is that they act on plasmic materials. Agglutinic SRDPs have been observed in clayey Oxisols. Certain Oxisols, the Acrorthox, have in the field a very weak subangular blocky structure which breaks into fine crumb. These crumbs are water stable aggregates and are alumino-silicate clays cemented by sesquioxides. The related distribution of such soil materials is agglutinic. The aggregates — there is practically no silt or sand — sometimes have a rim of oriented clay (ooidseplic plasmic fabric), subcutanic to the aggregate.

In fig. 1, this SRDP is confined to the region AOB but is best expressed in materials with plasmic NRDP or intergrades. The degree of expression of this SRDP is a function of the nature of the plasma — amount of sesquioxides — and the dessication of the soil. In an Acrorthox, agglutinic SRDP is present in the upper part of the profile; in the middle part, the aggregates are present but are coalesced whilst in the lower part the RDP is plasmic.

### *Reticulic*

The reticulic SRDP is one where the plasma is arranged in a reticulate pattern. The plasma may incorporate silt and fine sand grains. This SRDP is rare.

Complete plasmification of a vesicular basalt or granite without collapse of the material results in this SRDP. Formation of this SRDP is confined to the saprolite zone of weathering (Plate 2, c).

In some cases, two distinct kinds of plasma — kaolinite and sesquioxides — in a plasmic to porphyric NRDP may show this. The sesquioxidic plasma attains a reticulate pattern (Plate 2, d). This feature is common in the mottled zone of deep weathering profiles in the humid tropics. In this case a reticulic SRDP is superimposed on a plasmic NRDP.

### *Acknowledgements*

We wish to acknowledge the cooperation of Drs. G. Stoops and G. Paneque. We are also grateful to Geological Institute, State University, Ghent, Belgium and Patronato «Alonso de Herrera» del



Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C. S. I. C.), Spain, which enabled us to undertake this study.

#### SUMMARY

Related distribution patterns are important micromorphological parameters for pedogenetical studies. Two groups are recognised, a normal (basic) related distribution pattern and a specific related distribution pattern, depending on the role of plasma. Within each group several types are evaluated. Relation between granulometric data and basic related distribution patterns is studied in triangle diagram. Each of the types is defined; some are illustrated and examples of the soils where they occur is given.

#### REFERENCES

- BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G. y BAÑOS, C. 1974. Estudio micromorfológico de un suelo sobre sedimentos del Triás del Viar. An. Edaf. Agrob., C. S. I. C., Madrid.
- BREWER, R. 1964. Fabric and Mineral Analysis of Soils. John Wiley and Sons. London, 470.
- ESWARAN, H.; DE CONICK, F. and CONRY, M. J. 1969. A comparative micromorphological studie of light and medium textured podzols. Proc. 3rd Int. Work. Meet. Soil Micromorphology. Wroclaw, Poland, 269-286.
- ESWARAN, H. 1972. Micromorphological indicators of pedogenesis in some soils derived from basalts from Nicaragua. Geoderma, 7, 15-31.
- KUBIENA, W. L. 1938. Micropedology. Collegiate Press. Ames. Iowa.
- STOOPS, G. and JONGERIUS, A. 1975. Proposals for a morphological classification of soils materials. I. A classification of the related distributions of fine and coarse particles. Geoderma, 13 (3), 189-199.

Recibido para publicación: 21-XII-74



# SUELOS DE LA ZONA HUMEDA ESPAÑOLA

## VIII. SUELOS CON FRAGIPAN

### 1. MORFOLOGÍA Y DATOS GENERALES

p o r

F. GUITIAN OJEA y F. MACIAS VAZQUEZ

#### S U M M A R Y

#### SOILS OF THE SPAIN HUMID ZONE. VIII. SOILS WITH FRAGIPAN 1. MORPHOLOGY AND GENERAL CHARACTERISTICS

The geomorphological siting, the general properties and morphological characteristics of six profiles with subsuperficial fragipan horizons were studied; they are placed on the edges of the galician tertiary bassins upon clay or loamy-clay sediments. The aforementioned horizons can reach 2m. in depth and they have a sharp upper outline between 30 and 60 cm.

The profiles have a clearly polycyclic development, existing in some of them a stone-line separating the fragipan horizons from the upper zone, which evolves to the formation of the climax soil in the province: Brown Earth. Frequently, in the upper horizons there exist hydromorphic characteristics originated by the impermeability of the pan.

#### I N T R O D U C C I Ó N

Un problema muy frecuente en la investigación sistemática de los suelos de la zona húmeda española es el de la génesis de suelos policíclicos, a la que se han dedicado diversos trabajos con objeto de establecer el proceso de formación del ranker atlántico (11, 18) y de algunos «lehm» que, bajo el actual clima gallego, evolucionan hacia la «tierra parda» (1).

Dentro de esta línea de investigación, y como una contribución al conocimiento de la paleoedafología de la zona húmeda, se ha iniciado el estudio de suelos policíclicos que presentan un horizonte de fragipan subsuperficial.

El término de «fragipan» propuesto por G. D. Smith en 1946, y adoptado por el Soil Survey Staff en 1951 (9), viene definido en la 7.ª aproximación (27) como «Horizontes subsuperficiales, casi siempre por debajo de un horizonte B, muy pobres en materia orgánica, con densidad alta con respecto a los demás horizontes, de apariencia cementada y consistencia dura cuando están secos, generalmente moteados y con lenta o muy lenta permeabilidad al agua. Pueden tener pocos o muchos planos de fractura decolorados formando polígonos y presentan unos límites superiores claros a profundidades de 37,5 a 100 cm. por debajo de la superficie, sus límites inferiores son graduales o difusos, estando casi siempre libres de raíces excepto en las grietas decoloradas».

Su génesis es particularmente oscura y presenta muchas dudas, siendo las principales hipótesis presentadas:

a) *Herencia del material original*

Sostiene que las características de los horizontes de fragipan tienen su origen en la naturaleza del sustrato original.

b) *Desarrollo incremental*

Según esta hipótesis estos horizontes se encuentran sometidos a la acumulación de sustancias que, procedentes de los horizontes superiores, pueden moverse en suspensión o en disolución.

c) *Desarrollo catastrófico*

Las propiedades que caracterizan a muchos suelos de fragipan parecen estar relacionadas con la acción de fenómenos de tipo periglaciario, siendo derivados de un Cryon en el sentido que Fitzpatrick (8) da al término.

Esta hipótesis del desarrollo catastrófico es la más aceptada debido al hecho de que los suelos con horizontes de fragipan son muy frecuentes en las áreas que han sufrido procesos periglaciares. Fitzpatrick (8) presenta varias evidencias de que determinados aspectos de estos horizontes deben haberse producido por congelación de suelo húmedo. Los rasgos que señalan son: estructura laminar, discontinuidades esféricas o poros vesiculares y presencia de una cubierta de material fino, frecuentemente limoso, sobre los granos minerales.

Otros autores, Nikiforoff (20), Lozet (17), Duchaufour (6), consideran esta hipótesis, señalando este último, en su estudio de suelos de



los Vosgos y de Lorena, que datan de un período anterior al Würmiense y que su génesis es policíclica.

En contra del desarrollo catastrófico también se han presentado abundantes pruebas. Yassoglou (29) y Jha (16) encuentran horizontes de fragipan en zonas que no han estado sometidas a influencia periglaciaria durante el Cuaternario. Olson (9) y Jha (16) sostienen que la formación de las grietas típicas de estos horizontes se han producido por la desecación posterior al drenaje de zonas encharcadas, lo que, según ellos, explicaría su estructura poligonal.

Respecto a su clasificación, tampoco existe acuerdo entre los diversos investigadores acerca del lugar que deben ocupar.

La Sistemática Americana fue la primera en plantearse el problema, debido a la extraordinaria abundancia de estos horizontes en determinadas zonas de los Estados Unidos. Una revisión de los trabajos realizados pueden encontrarse en el estudio de Grossman (9) sobre los suelos de fragipan del este de los Estados Unidos.

En la 7.ª aproximación se consideran como «Horizontes de diagnóstico» para la categoría de Gran Grupo, encontrándose en los Ordenes: inceptisoles, alfisoles y ultisoles. Posteriormente, en 1962 (28), se modificaron la mayor parte de los subgrupos y algunos subórdenes, introduciendo además grandes grupos con fragipan en el orden de los spodosoles, quedando la clasificación de estos suelos tal como se encuentra en la tabla I.

En la sistemática de Mückenhausen (19) se encuentran incluidos entre los suelos que presentan un horizonte de pseudogley relicto, realizándose su subdivisión en función de los criterios de «evolución de los horizontes superiores» y de «la intensidad de los caracteres hidromórficos». Esta misma idea fue adoptada primeramente por Duchaufour (5), clasificándolos dentro de los «Suelos lavados a pseudogley», no obstante, de la consideración de que el proceso de lavado de estos suelos es un proceso antiguo que no se corresponde con la edafogénesis actual, ha propuesto subdividirlos, según el grado de hidromorfía, en: tierra parda ácida sobre paleosol glósico (o fragipan) y pseudogley podsólico sobre paleosol glósico (o fragipan).

Fitzpatrick (8) considera que los horizontes de fragipan de la Clasificación Americana deben subdividirse en dos: isons y fragons, siendo los primeros derivados de un cryon (horizonte congelado) por la desaparición del hielo, seguida de cementación por hidróxidos, sílice y arcilla. Los isons pueden ser «intergrados» con el material original y los fragons con Glossons, es decir, horizontes glósicos producidos por la reducción y desplazamiento del hierro de las grietas causadas por contracción o previamente ocupadas por el hielo.

Los isons se encuentran en la sistemática de Fitzpatrick en altosols (suelos pardos ácidos, pardos calizos y algunos entisoles), placosols

T A B L A I

*Clasificación de los suelos con fragipan en 1962*

Orden	Suborden	Gran grupo	Subgrupo
Inceptisols	Acuepts	fragiacuepts	typic; aeríc; húmic.
	Ochrepts	fragiochrepts	typic; andic; aquíc.
	Umbrepts	fragiumbrepts	typic; cryic.
Spodosols	Aquods	fragiaquods	typic; cryic.
	Humods	fragihumods	
	Orthods	fragiorthods	typic; cryic; alfic; cryohúmic; aquíc; entic; aquíc entic; húmic.
Alfisols	Aquaífs	fragiaquaífs	typic; aeríc; plinthic; umbric.
	Boraífs	fragiboraífs	typic; aquíc; fragiudic.
	Udaífs	fragiudaífs	typic; dystrandepic; albaquíc; glosic; aqueptic; mollic; aquíc; ochreptic; umbreptic.
Ultisols	Aquults	fragiaquults	typic; plinthic; plinthudic.
	Udults	fragiudults	typic; ochreptic; aqueptic; plintic ochreptic; aquíc; plintiqueptic; arenic plintic.

(placaqued o placorthods), podzols (podsol férrico húmico) y supra-gleysols (pseudogley, stagnogley, suelos de carácter aquíc).

Los fragans en andosols, argillisols (parabraunerde), brunizems (suelos forestales grises) y podzols. Los Glossons, sobre todo en los supra-gleysols.

En resumen, cuando se presenta un horizonte de tipo ison, el perfil es poligenético, siendo este horizonte un carácter relicto de un suelo congelado formado en un clima glaciario o periglaciario del Pleistoceno. En cambio, los fragans no parecen ser relictos, ya que se encuentran en suelos de evolución rápida como los andosols.

#### LOCALIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Los suelos estudiados se presentan en las depresiones terciarias de Puentes de García Rodríguez, Guntín, Portomarín, Monforte de Lemos y Ganzo de Limia que, junto con las de Roupas, Lugo, Sarria, Maceda y Verín constituyen un conjunto de cuencas con orientación N-S que separa dos grandes superficies morfológicas:

Al oeste, la penillanura septentrional de Galicia, que constituye, actualmente, la principal superficie de erosión.

Al este, las estructuras con orientación N-S o NW-SE que caracterizan al relieve appalachense gallego.

En estos valles terciarios, los suelos con fragipan se encuentran asociados a los bordes de la cubeta, con la única excepción del perfil número 1292.

La cubeta de Puentes de García Rodríguez ha sido datada por Parga Pondal (26) como perteneciente al período Tortoniense o Tortoniense-Pontiense, existiendo durante su formación un período cálido-húmedo, aspecto en el que coincide con los datos obtenidos por determinaciones palinológicas por Nonn y Medus (22, 23). Se trata de una cuenca tectónica rodeada por pelitas ordovícicas y metagrauwacas feldespáticas del Precámbrico, con un zócalo de esquistos cristalinos, en la que durante el Terciario se han acumulado capas de lignito intercaladas con arcillas esencialmente caoliníticas. Sobre este sustrato se encuentra otro más heterogéneo, compuesto por material cuarzoso y esquistos que presenta señales de haber sufrido procesos periglaciares cuaternarios, estos últimos tienen probablemente origen en procesos torrenciales de carácter episódico, que son muy frecuentes en el Cuaternario antiguo de Galicia (21, 24).

El marco de la depresión de Guntín está constituido por pelitas precámbricas, cámbricas y silúricas u ordovícicas (14), asociadas a pizarras metamórficas datadas por Parda Pondal y Gómez de Llarena (25) como Ludlow inferior.

Análogos materiales se presentan en la de Portomarín, excepto en el flanco Oeste, donde aparece la serie de los esquistos y carbonatos de Cándanas, caracterizados por presentar un metamorfismo de baja intensidad (14).

La cuenca de Monforte, mucho más estudiada, se encuentra ocupada por materiales arcillo-arenoso, predominando en su base bancos verdes, rojos, o amarillentos de arcilla; esta formación llega a alcanzar 100 m. en el centro del valle y se vuelve arcósica en superficie (4) (10).

Los depósitos se han formado en un medio alternativamente oxidante y reductor y por su similitud con el Mioceno de Castilla la Nueva han sido datados como pertenecientes a dicho período. Existen también en esta zona una formación de guijarros recubiertos de barro rojo y arcillas que parecen haber sido acarreadas desde el Sur, es decir con un drenaje opuesto al actual. Posteriormente a los guijarros rojos, se formó una terraza de cantos grises de cuarcitas que se han atribuido por su situación respecto a las terrazas del Sil, al Villafranquiense. Los materiales que aparecen en el borde de la depresión están constituidos por pelitas, pizarras silúricas y ordovícicas, cuarcitas del silúrico y areniscas del ordo-



*Situación de los perfiles dentro de las respectivas cuencas, y localización geográfica de las mismas.*

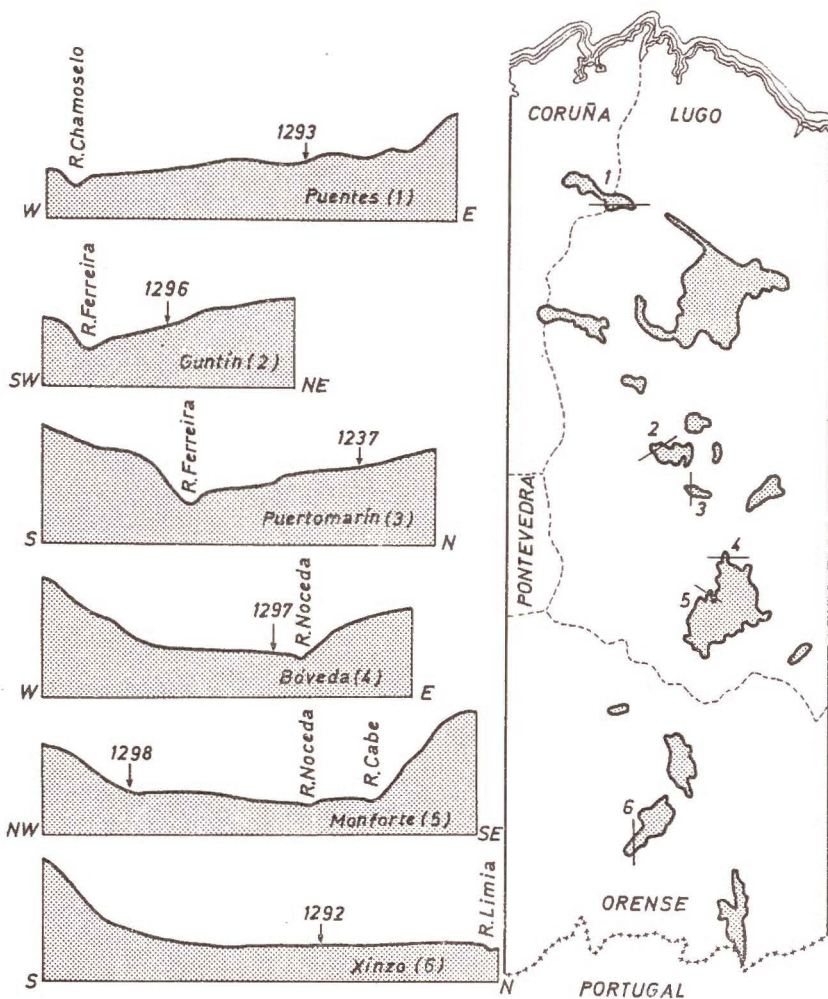


Fig. 1

vico inferior, metagrauwacas feldespáticas del precámbrico y granitos en la zona Oeste-Sudoeste.

La formación pelítica tiene en su centro lentejones de rocas carbonatadas del Cámbrico inferior, que pueden alcanzar el centenar de metros de potencia y están constituidas por caliza, magnesitas y dolomías de la serie de los esquistos y carbonatos de Cándana (14).

Los perfiles estudiados pertenecientes a esta depresión se encuentran localizados en las superficies erosivas 4 y 5 de De Groot (10), pertene-



cientes según este autor a un período pre-pliocénico, probablemente villafranquiense.

En Ginzo de Limia, los materiales que constituyen el borde de la cubeta están formados por zonas de inyecciones magmáticas y migmatíticas asociadas a granitos de dos micas que se encuentran en un estado avanzado de caolinización. Los depósitos están dotados, en general, como Cuaternario aluvial (14), pero presentan, según Hernández Pacheco (13), niveles del Terciario entre los 610 y los 650 m. de altitud, apreciándose en los estratos la existencia de dos facies, una inferior de sedimentos arenisco-arcósicos y otro conjunto arcillo-arenoso con tonalidades fuertemente rojizas pertenecientes al Plioceno superior-Villafranquiense.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Se han estudiado 6 perfiles cuya descripción morfológica es la siguiente:

##### *Perfil núm. 1293 (fig. 2 a)*

*Provincia:* La Coruña.

*Localidad:* Puentes de García Rodríguez.

*Situación:* Km. 473,5 de la carretera N-641 de Cabreiros a Puentes.

*Altitud:* 440 m.

*Topografía:* meseta ondulada.

*Pendiente:* nula.

*Roca madre:* cuarcitas con disyunción en planos y diaclasas.

*Condiciones de agua:* clase 2; imperfectamente drenado. Drenaje interno impedido, efectuándose sólo por las grietas decoloradas.

*Vegetación:* brezal con Ulex.

#### MORFOLOGÍA

Horizonte	Prof. cms.	
Ap	0- 5	Capa remontada reciente.
AE	5- 20	Horizonte rico en materia orgánica, moder grueso; de color marrón oscuro 10 YR 3/3; ligera podsolización con una zona decolorada sobre los 15 cms.; franco arenoso; sin estructura aparente; abundantes gravas de cuarcita; entrecruzado de raíces finas y gruesas; colonizado por numerosos insectos; pasa insensiblemente al horizonte inferior.

Horizonte	Prof. cms.	
B/E	20- 50	Horizonte mineral, con alguna materia orgánica humificada; color rojo amarillento 5 YR 5/6 en húmedo y amarillo rojizo 7,5 YR 7/6 en seco; franco arcillo arenoso; estructura grumosa; friable en húmedo y frágil; con gravas irregulares de cuarcita con cierta orientación paralela a la superficie, que se incrementan con la profundidad; abundantes raíces finas y gruesas.
2 Bx1	50- 70	Horizonte mineral (fragipan); color amarillo rojizo 7,5 YR 8/6 en seco con manchas de color rojo 10 YR 4/8; franco arcillo arenoso; estructura poliédrica; firme (consistente) y frágil; con gravas y piedras de cuarcita en la parte superior; en la inferior aparecen lenguas de color blanco 5 YR 9/1; abundantes grietas de retracción y escasas raíces, únicamente por las grietas.
2 Bx2	70-130	Horizonte mineral, con materiales estratificados de color rojo 10 YR 4/8 y blanco 5 YR 9/1, con lenguas de color blanco muy abundantes; franco arcilloso; estructura laminar estratificada que da en conjunto bloques poliédricos separados por grietas de retracción; gravas de cuarcita teñidas de oxi-hidróxidos de hierro, de menor tamaño que en los horizontes superiores; escasas raíces, sólo en las lenguas.
Bx3	130-200	Análogo al anterior, pero con estratificación menos acusada; estructura poliédrica y grietas de retracción muy abundantes.
3 R	+ 200	Roca madre de cuarcita con abundantes diaclasas y alteración laminar que recuerda a un esquistos.

*Perfil núm. 1296 (fig. 2 b)*

*Provincia:* Lugo.

*Localidad:* Guntín.

*Situación:* Km. 530 de la carretera de Lugo a Portugal por Orense.

*Altitud:* 480 m.

*Topografía:* ondulada.

*Orientación:* SO.

*Pendiente:* 3°.

*Roca madre:* sedimentos arcillosos terciarios.

*Condiciones de agua:* drenaje interno impedido, húmedo en profundidad.

*Vegetación:* Ulex, Quercus y Ericáceas.

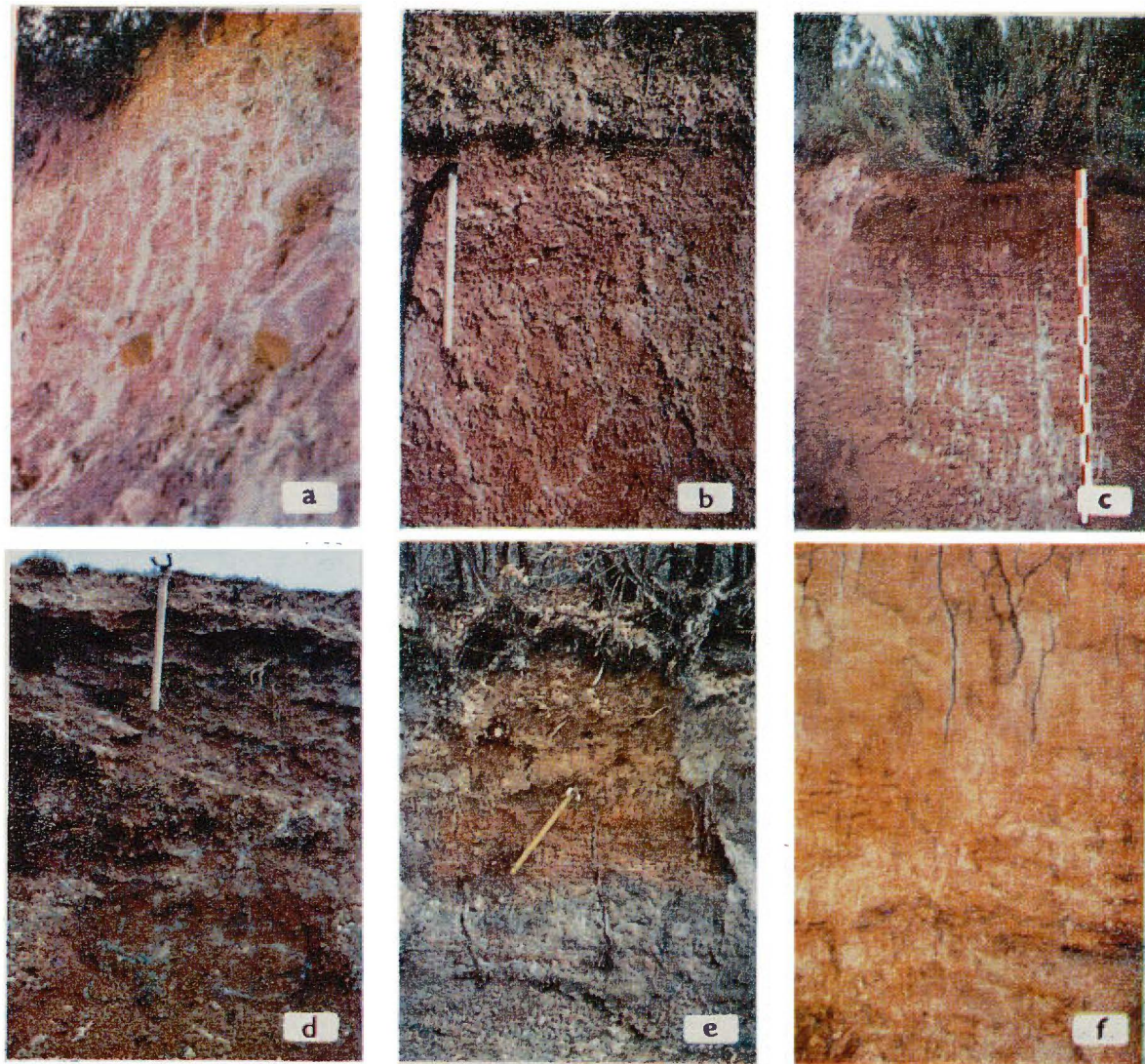


Fig. 2.—Perfiles con fragipán de la zona húmeda española  
a Perfil núm. 1293.—b Perfil núm. 1296 —c Perfil núm. 1237 —d Perfil núm. 1297.—e Perfil núm. 1298.—f Perfil núm. 1292



## MORFOLOGÍA

Horizonte	Prof. cms.	
O	0- 3	Raíces y restos vegetales sin descomponer.
A	3- 30	Horizonte rico en materia orgánica; color rojo 10 R 4/6 en seco; franco arenoso; sin estructura aparente, plástico; con gravas de cuarzo y esquisto alteradas; escasas raíces; pasa insensiblemente al horizonte inferior.
B	30- 55	Horizonte mineral; color rojo oscuro 10 R 3/6 a rojo 10 R 4/6 en seco; teñido de hierro, franco arcilloso, menor plasticidad sin gravas de cuarzo; pocas raíces; límite brusco por la línea de piedras.
2 B	55- 65	Línea de piedras, en general de esquistos arcillosos alterados y teñidos de rojo; color rojo oscuro 10 R 3/4; algunas gravas de cuarzo; orientadas respecto a la superficie; evidencias de crioturbación; límite brusco.
3 Bx1	65-125	Horizonte de fragipan con zonas amplias de color rojo oscuro 10 R 3/4 y grietas de color pardo grisáceo 2.5 Y 5/2 en seco; también existen zonas grises horizontales constituyendo mosaico; franco arcilloso; estructura laminar, pero las grietas delimitan poliedros; plástico, muy frágil; escasas raíces, sólo por las lenguas blanqueadas.
3 Bx2	125	Continuación del anterior, con gravas de pizarra gris oscuro y cuarzo en las bandas grises, en mayor cantidad que en superficie y menos alteradas.

*Perfil núm. 1237 (fig. 2 c)**Provincia:* Lugo.*Localidad:* Gonzar (Portomarín).*Situación:* Km. 5 de la carretera de Ventas de Narón a Portomarín.*Altitud:* 535 m.*Topografía:* horizontal.*Pendiente:* nula.*Roca madre:* sedimentos arcillosos terciarios.*Condiciones de agua:* drenaje interno impedido.*Vegetación:* brezal con *Pterospartum tridentatum*, *Sarothamnus esco-*



parius, *Erica* sp.; *Ulex*, *Halimium occidentale*, *Poa*, repoblado de pino.

## MORFOLOGÍA

Horizonte	Prof. cms.	
Ap	0- 10	Horizonte de acumulación reciente.
AB	10- 30	Poco orgánico, pardo rojizo 5 YR 4/4; franco arcilloso; sin estructura; suelto pulverulento; con gravas angulares de cuarcita, algunas de aspecto esquistoso; colonizado por numerosos insectos y con separación muy neta del horizonte inferior.
2 Bx1	30- 50	Horizonte de fragipan; rojo oscuro 10 YR 4/4 y pardo pálido 10 YR 6/3 en seco; predominando los colores rojos, franco arcilloso; estructura global laminar bandeada; muy duro y compacto; con influencia del horizonte superior, empardecido; raíces sólo por las grietas decoloradas.
2 Bx2	50-110	Continuación del anterior, desapareciendo la influencia del empardecimiento; colores más vivos y aumento del gris; gris ligero 2,5 Y 7/0 y rojo profundo 10 R 4/4 continuando así toda la zona observada.

*Perfil núm. 1297 (fig. 2 d)*

*Provincia:* Lugo.

*Localidad:* Sanfiz de Bóveda.

*Situación:* Km. 40,5 de la carretera Lugo-Orense por Monforte.

*Altitud:* 400 m.

*Topografía:* ondulada, llana o casi llana.

*Orientación:* SE.

*Pendiente:* 0-2 por 100.

*Roca madre:* sedimentos.

*Condiciones de agua:* drenaje interno impedido.

*Vegetación:* *Rubus* y gramíneas.

## MORFOLOGÍA

Horizonte	Prof. cms.	
A	0-14	Horizonte rico en materia orgánica, bien humificado (mull); color rojo amarillento 5 YR 4/8 en húmedo y pardo fuerte 7,5 YR 5/6 en seco; franco arenoso; estructura ligerante grumosa; plástico; gravas subredondeadas de cuarzo y esquistos, de pequeño tamaño, que aumentan en superficie, abundantes raíces finas; límite neto.
Bk	14-70	Zona de línea de piedras de color rojo 10 R 4/6 con partes más claras, blanco rosáceo 7,5 YR 8/2 en seco; franco arcillo arenoso, abundantes gravas subangulares o subredondeadas de cuarcita y esquistos teñidos de hierro, algunas concreciones ferruginosas, generalmente redondeadas, cementado; reacción de carbonatos positiva en toda la zona.
2 Bx	70-140	Horizonte de fragipan con zonas horizontales de color rojo 10 R 4/8 y blanco 5 YR 8/1, predominando las de color rojo y cuñas verticales no muy anchas (1-4 cms.) de color blanco 5 YR 8/1 que en profundidad pasa a oliva pálido 5 Y 6/3; franco arenoso; estructura laminar que en profundidad se vuelve escamosa, frágil, abundantes grietas de retracción y clay-skin poco desarrollados; sin raíces. Reacción de carbonatos positiva en las zonas blancas y roja hasta los 80 cms. y en las cuñas blancas desde 80 a 120 cms. y negativa en la zona roja a partir de los 90 cms.

*Perfil núm. 1298 (fig. 2 e)**Provincia:* Lugo.*Localidad:* Aspera, Villalpape, Monforte.*Situación:* Km. 7 de la carretera Monforte-Sarria.*Altitud:* 360 m.*Topografía:* ondulada, llana o casi llana.*Orientación:* S.*Pendiente:* 0-2 por 100.*Roca madre:* sedimentos.*Condiciones de agua:* drenaje interno impedido.*Vegetación:* zona repoblada de pinos, con *Quercus*, *Ulex*, *Ericáceas*, *Rubrus* y *Sarothamnus*.

## MORFOLOGÍA

Horizonte	Prof. cms.	
Ap	0- 15	Remonte cubierto por hojarasca y musgos.
A	15- 36	Horizonte con alguna materia orgánica, aparentemente podsolizado; color gris ligeramente pardo 10 YR 6/2 en húmedo y gris claro 10 YR 7/2 en seco; franco arenoso sin estructura aparente; muy friable; escasas gravas; numerosas raíces finas y gruesas; límite neto.
AB	36- 50	Análogo al anterior, con igual color, pero provisto de una línea de piedras, grandes, subangulares, de cuarcita; escasas raíces gruesas; límite neto.
Bg	50- 78	Horizonte mineral, pseudogleizado, de color amarillo 10 YR 7/8 con abundantes manchas de color gris 2,5 Y 6/0 en húmedo y amarillo parduzco 10 YR 6/8 y gris claro 2,5 Y 7/2 en seco; franco arcillo arenoso; ligera estructura; plástico; gravas pequeñas de cuarcita no muy abundantes y sin orientar; escasas raíces gruesas; límite neto.
2 Bx1	78-120	Horizonte de fragipan, de color rojo 10 R 4/6 y gris 2,5 Y 6/0 predominando el rojo; franco arenoso, estructura claramente laminar con grietas muy finas que delimitan bloques prismáticos; frágil y muy consistente; algunas gravas pequeñas irregulares de cuarcita; raíces gruesas en las grietas de retracción que a veces están rellenas de material orgánico de color variable entre 2,5 Y 5/0 y negro 2,5 Y 3/0; límite neto.
2 C	120-150	Sedimentos arcillo arenosos, color oliva 5 Y 5/4; muy friable, con edafotúbulos rellenos de materia orgánica y por donde bajan raíces gruesas.

*Perfil núm. 1292 (fig. 2 f)**Provincia:* Orense.*Localidad:* Ginzo de Limia.*Situación:* Km. 4 de la carretera Ginzo de Limia a Bande.*Altitud:* 620 m.*Topografía:* horizontal.*Pendiente:* nula.

*Roca madre*: sedimentos.

*Condiciones de agua*: drenaje interno impedido, húmedo en profundidad.

*Vegetación*: Ericáceas, Ulex y Gramíneas.

#### MORFOLOGÍA

Horizonte	Prof. cms.	
A	0- 23	Horizonte rico en materia orgánica; color gris oscuro 10 YR 4/1 en húmedo y pardo grisáceo 10 YR 5/2 en seco, franco arcillo arenoso; sin estructura aparente; muy friable; abundantes gravas finas y alguna grava gruesa de cuarcita; colonizado por numerosos insectos; abundantes raíces finas y gruesas; pequeñas grietas de retracción; límite neto.
Bg	23- 45	Horizonte mineral cementado, con abundantes grietas de retracción; color amarillo 10 YR 7/6 en húmedo y 10 YR 8/6 en seco; con los bordes de las grietas blanqueadas, blanco 7,5 YR 8/0; franco arcillo arenoso; sin estructura; abundantes gravas distribuidas irregularmente en una zona comprendida entre 30 y 40 cms.; límite inferior insensible.
2 Bx1	45- 90	Horizonte de fragipan de color amarillo 10 YR 7/6 en húmedo y 10 YR 8/6 en seco; con abundantes grietas de retracción y lenguas rellenas de mineral blanqueado, blanco 7,5 YR 8/0; franco arcillo limoso; estructura laminar que da en conjunto grandes agregados poliédricos separados por grietas; frágil y consistente; raíces sólo por las zonas blanqueadas.
2 Bx2	90-130	Continuación del anterior pero con estructura laminar más acusada y agregados poliédricos más pequeños, disminuyendo en profundidad, color amarillo 10 YR 8/8 en húmedo y 10 YR 8/6 en seco, con abundantes manchas de color rojo 2,5 YR 5/6; grietas de retracción, con materia orgánica y raíces, rellenas de material de color blanco 7,5 YR 8/0 que aumenta con la profundidad; pasa insensiblemente al horizonte inferior.
2 C	130	Horizonte mineral, color gris ligero 7,5 YR 8/0 en húmedo y blanco 7,5 YR 8/0 en seco, con ligeras manchas de color amarillo-rojizo que disminuyen con la profundidad, limoso homogéneo, plástico, compacto, abundantes raíces finas distribuidas por toda la masa.



## MÉTODOS

Se han utilizado las técnicas de uso más frecuente en Edafología: pH, índice de amortización, carbono y nitrógeno total, complejo de cambio, y carbonatos tal como se describen en las técnicas de análisis de suelos (6). Los geles de hierro y aluminio por extracción con el reactivo combinado «Tamm más hidrosulfito», realizándose la valoración por espectrofotometría de absorción atómica.

Para la descriptiva y nomenclatura de los horizontes se ha utilizado la terminología de la FAO (26).

En los horizontes de fragipan que muestran una distinción neta entre materiales rojos y grises se han efectuado los análisis de cada una de dichas fracciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas II, III, IV, V, VI y VII contienen los datos químicos generales, los de capacidad de cambio de bases y grado de saturación y los resultados del análisis mecánico de los perfiles anteriormente descritos. El examen morfológico de los perfiles permite comprobar que tienen características que, en general, coincide con la dada por diversos autores (4, 17), para estos horizontes. En todos ellos se trata de suelos desarrollados sobre sedimentos terciarios, arcillosos o franco arcillosos, en algún caso franco arenosos, que presentan un horizonte de fragipan subsuperficial cuyo límite oscila entre los 30 y los 60 cms., pudiendo alcanzar hasta 2 m. de profundidad. La estructura global es laminar, presentando grietas de retracción rellenas de materiales decolorados que delinieran bloques de hábito prismático. Su textura varía de franco arenosa a franco arcillosa, siendo más grosera la granulometría de los horizontes superiores. Son compactos y frágiles, plásticos en húmedo y de colores rojo intenso a pardo rojizo con lenguas blancas o grises. La compactación del pan impide la penetración de las raíces que únicamente pueden alcanzar los horizontes inferiores siguiendo las zonas decoloradas.

Sobre estos horizontes suele encontrarse una línea de piedras de espesor variable constituida generalmente por cuarcitas irregulares y esquistos; en el caso del perfil 1927, esta formación llega a alcanzar 50 cms., y está impregnada de caliza. La línea de piedras sirve de separación al fragipan del suelo actual, generalmente una tierra parda, cuyo horizonte (8) se encuentra más o menos pseudogleificado debido a la impermeabilidad del pan.

También puede aparecer sobre la línea de piedras un horizonte lava-

TABLA II

Datos analíticos del perfil núm. 1293

	H o r i z o n t e s						
	AE	B/E	2 B x 1	2 B x 2 (r)	2 B x 2-3 (g)	2 B x 3 (r)	
pH H <sub>2</sub> O ... ..	4,50	4,45	4,30	4,10	4,10	4,10	
pH ClK ... ..	4,10	4,05	4,10	3,95	3,90	3,85	
pH p-nitro ... ..	5,70	6,40	6,35	6,40	6,25	6,55	
Ind. amort. ... ..	4,48	2,03	2,24	1,97	2,42	1,43	
C % ... ..	2,79	0,65	0,44	0,37	0,34	0,10	
% Materia org. ... ..	4,81	1,13	0,76	0,63	0,58	0,17	
N % ... ..	0,18	0,09	0,05	0,04	0,04	0,04	
C/N ... ..	15,0	6,80	—	—	—	—	
Complejo de cambio (meq/100 g suelo)	H ... ..	54,71	41,90	45,00	44,62	42,68	43,45
	Ca... ..	0,72	0,50	0,58	0,40	0,50	0,40
	Mg... ..	0,14	0,04	0,18	0,18	0,26	0,20
	K ... ..	0,14	0,56	0,08	0,11	0,08	0,11
	Na... ..	0,27	0,09	0,27	0,16	0,32	0,27
	S ... ..	1,3	1,2	1,1	0,8	1,3	0,6
	T ... ..	56,0	43,1	46,1	45,5	43,8	44,4
	V ... ..	2,3	2,8	2,4	1,9	2,6	2,2
Al ... ..	4,95	1,90	1,50	0,85	1,30	0,63	
G e l e s	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	2,01	1,06	0,94	0,59	0,59	0,47
	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	2,91	3,33	3,85	3,54	0,93	5,00
A. mecánico	% A. gruesa... ..	41	37	29	9	12	14
	% A. fina... ..	30	22	23	31	32	18
	% Limo ... ..	15	13	16	22	32	18
	% Arcilla... ..	14	28	32	38	24	34

r = rojo; g = gris.

TABLE III

Datos analíticos del perfil núm. 1296

	H O R I Z O N T E S										
	A	B	2B	3B x 1	3B x 2 (r)	3B x 2 (g)	3B x 3 (r)	3B x 3 (g)	3B x 4 (r)	3B x 4 (g)	
pH H <sub>2</sub> O ... ..	4,35	4,70	4,85	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	
pH ClK ... ..	3,50	4,00	4,10	4,25	4,20	4,15	4,20	4,20	4,20	4,20	
pH p-nitro ... ..	5,00	6,00	6,10	6,30	6,10	6,25	6,30	6,30	6,20	6,20	
Ind. amort. ... ..	2,86	3,33	3,10	2,54	3,21	2,63	2,50	2,50	2,50	2,50	
% C ... ..	0,96	0,57	0,11	0,35	0,22	0,22	0,14	0,17	0,05	0,13	
% Materia org....	1,67	0,99	0,20	0,61	0,39	0,39	0,24	0,30	0,10	0,23	
% N ... ..	0,09	0,05	0,04	0,05	0,04	0,07	0,04	0,06	0,04	0,05	
C/N ... ..	11,1	11,0	—	—	—	—	—	—	—	—	
Cap. de cambio (meq/100 g suelo)	H ... ..	65,09	55,48	53,15	50,82	45,39	53,77	45,39	53,35	46,56	52,38
	Ca ... ..	0,32	0,32	0,22	0,78	0,60	1,20	1,00	1,20	1,00	1,20
	Mg... ..	0,01	0,01	0,08	1,04	0,54	1,28	0,84	1,26	1,22	0,92
	K ... ..	0,06	0,26	0,06	0,02	0,14	0,17	0,17	0,21	0,14	0,51
	Na... ..	0,44	1,08	0,16	0,36	0,28	0,41	0,43	0,57	0,32	0,65
	S ... ..	0,8	1,7	0,5	1,7	1,6	3,1	2,4	3,2	2,7	3,3
	T ... ..	65,9	57,1	53,6	52,5	46,9	56,8	47,8	56,5	49,2	55,6
	V ... ..	1,2	2,9	1,0	3,2	3,3	5,3	5,1	5,7	5,4	5,6
	Al ... ..	1,74	2,03	1,95	0,85	0,40	0,50	1,90	0,65	1,05	0,65
Gases	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,75	0,94	0,80	0,80	0,75	0,30	0,70	0,20	0,60	0,20
	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	6,30	5,65	10,35	7,84	8,25	2,30	7,80	1,87	8,50	1,70
A. mecánico	% A. gruesa... ..	22	18	46	16	15	8	21	17	22	17
	% A. fina ... ..	33	25	16	17	19	20	23	20	19	10
	% Limo ... ..	20	26	17	30	30	38	25	34	18	34
	% Arcilla... ..	26	31	21	38	37	34	32	30	41	39

r = rojo; g = gris.

TABLA IV

Datos analíticos del perfil núm. 1237

	H O R I Z O N T E S						
	Ap	AB	2 B x 1 (r)	2 B x 1 (g)	2 B x 2 (r)	2 B x 2 (g)	
pH H <sub>2</sub> O ... ..	4,10	4,55	4,35	4,45	4,30	4,40	
pH ClK ... ..	3,60	3,80	3,70	3,95	3,80	4,00	
pH p-nitro ... ..	5,00	5,50	5,50	6,00	5,50	5,80	
Ind. amort. ... ..	5,88	4,69	4,54	3,27	4,69	4,00	
% C ... ..	3,69	0,96	0,57	0,68	0,34	0,47	
% Materia org. ... ..	0,34	1,67	0,98	1,17	0,59	0,82	
% N ... ..	0,30	0,10	—	—	—	—	
C/N ... ..	12,3	9,6	—	—	—	—	
Complejo de cambio (meq/100 g suelo)	H ... ..	58,58	46,17	44,23	46,03	44,62	45,94
	Ca... ..	0,40	0,28	0,28	0,30	0,28	0,30
	Mg... ..	0,23	0,14	0,10	0,26	0,06	0,22
	K ... ..	0,14	0,11	0,08	0,08	0,05	0,02
	Na... ..	0,32	0,29	0,27	0,10	0,27	0,05
	S ... ..	59,7	47,0	45,0	46,8	45,3	46,5
	V ... ..	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,3
	Al ... ..	4,00	1,30	1,05	1,40	1,20	0,70
Coles	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,90	0,80	0,80	0,40	0,60	0,60
	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	6,10	6,60	8,05	2,30	10,65	1,90
A. mecánico	% A. gruesa... ..	22	18	9	8	15	19
	% A. fina... ..	24	16	19	34	27	17
	% Limo ... ..	26	22	35	13	27	25
	% Arcilla... ..	28	44	37	44	31	39

r = rojo ; g = gris.



TABLA V

*Datos analíticos del perfil núm. 1297*

		H O R I Z O N T E S					
		A	Bk	2 B x 1 (r)	2 B x 1 (g)	2 B x 2 (r)	2 B x 3 (ry g)
pH H <sub>2</sub> O ... ..		6,70	9,25	9,00	9,25	8,95	8,90
pH ClK ... ..		5,60	7,50	7,60	8,15	7,50	6,80
pH p-nitro ... ..		6,80	7,15	7,25	7,25	7,15	7,10
Ind. amort. ... ..		1,43	—	—	—	—	—
% C ... ..		2,01	0,06	0,05	0,15	0,06	0,08
% Materia org. ... ..		3,46	0,10	0,09	0,26	0,11	0,14
% N ... ..		0,23	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Capacidad de cambio (meq/100 g suelo)	H ... ..	3,73	—	—	—	—	—
	Ca... ..	15,80	74,00	48,00	52,00	28,00	36,00
	Mg... ..	0,35	0,30	0,14	0,38	0,42	0,56
	K ... ..	0,36	0,28	0,51	0,25	0,31	0,31
	Na... ..	0,27	0,22	0,27	0,19	0,16	0,19
	S ... ..	16,8	74,8	48,9	52,8	28,9	37,1
	T ... ..	20,5	74,8	48,9	52,8	28,9	37,1
	V ... ..	81,8	100	100	100	100	100
	Al ... ..	0,65	0,60	0,65	—	—	—
Geles	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,63	0,33	0,23	0,19	0,33	0,35
	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	2,96	2,44	2,59	1,03	2,74	2,51
	% Carbonatos ... ..	—	42,90	13,80	50,00	7,12	10,70
A. mecánico	% A. gruesa... ..	28	46,0	6	47	17	8
	% A. fina... ..	39	17	32	23	39	47
	% Limo... ..	25	25	26	12	28	23
	% Arcilla... ..	8	22	36	18	16	22

r = rojo ; g = gris.

TABLA VI

Datos analíticos del perfil núm. 1298

	H O R I Z O N T E S							
	Ap	A	AB	Bg	2 B x 1 (r)	2 B x 1 (g)	2 C	
pH H <sub>2</sub> O... ..	5,25	4,20	4,55	4,00	4,60	4,15	4,80	
pH ClK ... ..	3,80	3,85	3,70	3,60	3,65	3,70	3,60	
pH p-nitro ... ..	5,70	5,85	5,80	5,75	6,00	5,95	6,00	
Índice amort. ... ..	4,60	3,65	3,64	3,98	2,98	3,18	2,94	
% C ... ..	1,82	1,20	0,42	0,40	0,12	0,25	0,11	
% Materia org. ... ..	3,14	2,07	0,72	0,68	0,20	0,44	0,18	
% N ... ..	0,11	0,09	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	
C/N ... ..	16,5	13,5	—	—	—	—	—	
Capacidad de cambio (meq/100 g suelo)	H ... ..	13,07	15,25	10,27	8,40	6,54	7,94	5,60
	Ca... ..	0,28	0,28	0,14	0,14	0,14	0,14	0,50
	Mg... ..	0,65	0,59	0,54	0,40	0,38	0,38	1,47
	K ... ..	0,31	0,22	0,08	0,17	0,14	0,17	0,20
	Na... ..	0,08	0,09	—	—	—	—	—
	S ... ..	1,3	1,9	0,8	0,7	0,7	0,7	2,2
	T ... ..	15,4	13,4	11,0	9,1	7,2	8,6	7,8
	V ... ..	8,5	8,8	6,9	7,8	9,2	8,0	27,9
	Al... ..	2,15	3,00	2,15	2,15	1,95	2,80	2,15
Geles	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,54	0,59	0,85	0,80	0,45	0,49	0,42
	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,11	1,03	1,63	1,77	2,07	1,92	0,63
A. mecánico	% A. gruesa. ... ..	33	31	31	31	53	47	47
	% A. fina ... ..	36	34	23	22	23	21	19
	% Limo ... ..	18	10	13	11	7	10	3
	% Arcilla... ..	13	25	33	36	17	22	31

r = rojo ; g = gris.

TABLA VII

*Datos analíticos del perfil núm. 1292*

	H O R I Z O N T E S					
	A	Bg	2 B x 1	2 B x 2	2 C	
pH H <sub>2</sub> O ... ..	4,20	4,00	4,05	3,85	4,20	
pH ClK ... ..	3,90	3,90	3,80	3,80	3,90	
pH p-nitro ... ..	5,50	5,60	5,70	5,00	5,50	
Ind. amort. ... ..	4,83	4,51	4,06	6,25	4,83	
% C ... ..	5,87	0,40	0,46	0,38	0,12	
% Materia org....	10,12	0,69	0,79	0,65	0,21	
% N ... ..	0,34	0,03	0,04	0,03	0,02	
C/N ... ..	17,5	—	—	—	—	
Capacidad de cambio (meq/100 g suelo)	H ... ..	71,78	54,71	53,15	54,48	49,27
	Ca ... ..	0,28	0,36	0,36	0,40	0,80
	Mg ... ..	0,08	0,04	0,38	0,16	0,14
	K ... ..	0,31	0,08	0,20	0,11	0,11
	Na ... ..	0,13	0,05	0,24	0,13	0,13
	S ... ..	0,8	0,5	1,2	0,8	1,2
	T ... ..	73,6	55,2	54,3	56,3	50,4
	V ... ..	1,1	0,9	2,2	1,4	2,3
Al ... ..	5,80	0,40	1,50	0,85	0,47	
Geles	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	2,48	1,08	2,12	1,32	0,94
	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,25	2,37	3,18	2,96	0,62
A. mecánico	% A. gruesa ... ..	32	33	5	4	1
	% A. fina ... ..	25	15	15	22	11
	% Limo ... ..	17	26	50	51	66
	% Arcilla ... ..	26	26	30	23	22

do (Ae), cuya formación se encuentra favorecida por la intensa precipitación y la naturaleza cuarcítica del aporte cuaternario.

Las diferencias morfológicas, más notables, respecto a los perfiles con horizontes de fragipan descritos en la bibliografía, se refieren al color más rojo que los de las latitudes superiores y, sobre todo, al tipo de material original, que, en general, suelen ser limos loessicos (28, 29), mientras que los aquí estudiados se encuentran sobre sedimentos terciarios arcillosos.

Las propiedades químicas son las típicas de un suelo ácido, pobre en materia orgánica y con complejo de cambio fuertemente desaturado, en el único caso en que esto no ocurre (perfil núm. 1297), la calcificación es posterior a la formación del pan. Los óxidos de hierro libres muestran una distribución irregular a lo largo del perfil, concentrándose en las zonas rojas de los horizontes de fragipan, donde alcanzan hasta un 10 por 100 de  $Fe_2O_3$  libre, mientras que en las zonas grises de la misma profundidad no superan el 2 por 100.

#### RESUMEN

Se estudia la localización geomorgológica, las propiedades generales y los caracteres morfológicos de seis perfiles que presentan horizontes de fragipan subsuperficiales, situados en los bordes de las cuencas terciarias gallegas sobre sedimentos arcillosos o franco arcillosos. Dichos horizontes tienen un límite superior brusco entre los 30 y los 60 cm., pudiendo alcanzar hasta 2 m. de profundidad.

Los perfiles tienen un desarrollo claramente policíclico, existiendo en algunos de ellos una línea de piedras que separa los horizontes de fragipan de la zona superior que evoluciona hacia el suelo climax de la región: «tierra parda». Frecuentemente, existen en los horizontes superiores caracteres hidromórficos originados por la impermeabilidad del pan.

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALÍAS, L. J., GUITIÁN OJEA, F., PÉREZ, A., VÁZQUEZ, M. C. (1968). Contribución al estudio de suelos lehm de la zona húmeda española. *An. Edafol. Agrobiol.*, 27, 1-23.
- (2) BAILEY, H. H. (1964). Fragipan Soils: Morphological Relationships. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28, 680-683.
- (3) BARTELLI, L. J. (1973). Soil development in loess in the Southern Mississippi Valley. *Soil Sci.*, 115, 254-260.
- (4) BIROT, P., SOLE SABARIS, L. (1954). Recherches morphologiques dans le nord-ouest de la Peninsule Iberique. Centre de Documentation et Cartographie. C. N. R. S. IV. Etudes et Memoires, 11-61.
- (5) DUCHAUFOUR, P.: (1970). *Precis de Pedologie*, Mason et Cie., ed., París.
- (6) DUCHAUFOUR, PH., BECKER, M., HETIER, J. M., LE TACON, F. (1972). Note sur la pedogénese des sols lessivés à Pseudogley sur limons anciens des Bases Vosges et de Lorraine. *Comptes rendus des Commissions V et VI de l'Ass. Int. de la Science du Sol*. Ed. Ernst Schlichting & Udo Schwtmann. Verlag Chemie.
- (7) FAO (1973). Sistema de Clasificación de Suelos.



- (8) FITZPATRICK, E. A. (1971). *Pedology. A systematic approach to Soil Science.* Oliver & Boyd. Edimburgh.
- (9) GROSSMAN, R. B., CARLISLE, F. J. (1969). Fragipan Soils of the Eastern United States. *Advances in Agronomy*, 21, 237-280.
- (10) GROOT, R. (1974). Quantitative analyses of pediments and fluvial terraces applied to the basin of Monforte de Lemos, Galicia, N. W. Spain. Tesis, Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium van de Universiteit Van Amsterdam, 22.
- (11) GUITIÁN OJEA, F. (1963). Técnicas de análisis de suelos. Monografías de Ciencia Moderna, núm. 70, C. S. I. C., Madrid.
- (12) GUITIÁN OJEA, F., CARBALLAS, T. (1968). Suelos de la zona húmeda española. III. Ranker atlántico. *An. Edafol.*, 27, 57-73.
- (13) HERNÁNDEZ PACHECO, F. (1949 a). Geomorfología de la cuenca media del Sil. *Mem. R. Acad. Cienc. Ex. Fis. y Nat., serie Cien. Nat.*, XIII, 114.
- (14) IGME (1971). Mapa Geológico de España. 1:200.000. Hojas núms. 1, 8 y 17, Madrid.
- (15) JAMAGNE, M., FEDOROFF, N. (1969). Quelques caractéristiques fondamentales des paléosols sur loess du Nord de la France, *Pedologie*, 22, 198-221.
- (16) JHA, P. P., CLINE, M. G. (1963). Morphology and genesis of a Sol Brun Acide with Fragipan in uniform silty material. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27, 339-344.
- (17) LOZET, J. M., HERBILLON, A. J. (1971). Fragipan soils of Condroz (Belgium) mineralogical, chemical and physical aspects in relation with their genesis, *Geoderma*, 5, 325-343.
- (18) MÜCHER, H. J., CARBALLAS, T., GUITIÁN OJEA, F., JUNGERIUS, P. D., KROONENBERG, S. B., VILLAR, M. C. (1972). Micromorphological Analysis of effects of alternating phases of Landscape stability and instability on two soil profiles in Galicia, N. W. Spain, *Geoderma*, 8, 241-266.
- (19) MUCKENHAUSEN, E. (1962). Entstehung Eigenschaften und Systematic der Böden der Bundesrepublik Deutschland, DLG. Verlag-GmbH-Frankfurtam Maim., 150.
- (20) NIKIFOROFF, C. C. (1955). *Geol. Surv. Profess. Papér 267-B.* U. S. Dept. Interior Washington, D. C.
- (21) NONN, H., TRICART, J. (1960). Etude d'une formation periglaciaire ancienne en Galice (Espagne). *Bull. Soc. Geol., Fr.*, 41-44.
- (22) NONN, H., MEDUS, J. (1963). Primeros resultados de la cuenca de Puentes de García Rodríguez. *Notas y Com. del Instituto Geológico y Minero de España.* Núm. 71, 87-94.
- (23) NONN, H. (1966). Les regions cotières de la Galicie (Espagne). Tesis Fac. de Lettres de l'Université de Strasbourg.
- (24) NONN, H. (1967). Presentación de algunos depósitos superficiales recientes en Galicia Occidental. *Notas y Com. Inst. Geol. y Minero de España*, núm. 95, 89-105.
- (25) PARGA-PONDAL, I., GÓMEZ DE LLARENA, J. (1963). Yacimientos fosilíferos en las pizarras metamórficas de Guntín (Lugo). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Natural (G.)*, 61, 83-88.
- (26) PARGA PONDAL, I. (1966). Datos Geológico-petrográficos de la provincia de La Coruña. *Artes Gráficas de Faro de Vigo.*
- (27) SOIL SURVEY STAFF (1960). *Soil Clasification: A comprehensive System 7th Approximation* U. S. Dept. Agr., Washington, D. C.
- (28) SOIL SURVEY STAFF (1962). *Supplement to Soil Survey Manual* U. S. Dept. Agr., Handbook 18, Washington, D. C.
- (29) YASSOGLU, N. J., WHITESIDE, E. P. (1960). Morphology and Genesis of some soils containing fragipans in Northern Michigan. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, 396-407.



# GENESIS DE LOS SUELOS ROJOS DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR: EVOLUCION Y DEGRADACION

por

J. DE OLMEDO PUJOL

## SUMMARY

### GENESIS OF GUADALQUIVIR VALLEY (SOUTH SPAIN) RED SOILS: EVOLUTION AND DEGRADATION

Transcutans are iron-clay gels that penetrate across soil mass; they are not associated to natural internal surfaces. The red soils present isotropic transcutans in A horizon, they are originated by rain by mudding of eolic and layer erosion materials; in B horizon, the transcutans are anisotropic due to its tensions; its accumulation in this horizon in front of concentration in A horizon is the leaching index of these soils. The red soil degradation is started with arrangement of fine sand grains in rounded and concentric forms; their centers are the attraction points of transcutanic material, possibly of bacterial origin. With pseudogleyed soil, if the drainage conditions are better and the leaching increase, only remains the accumulation centers that now will be centers of polyhedrons in which breaks the sandy loam soil mass, to the leaching the clay of that degraded horizon: this must be the genesis of fragipans.

El conocimiento de los suelos rojos en España ha avanzado sensiblemente en cuanto a génesis, morfología y sistemática (Paneque y Olmedo, 1971; Paneque y Clemente, 1973; Guerra, 1972; Mudarra, 1974). La micromorfología dilucidará puntos aún no aclarados, razón del trabajo que se desarrolla seguidamente.

## GEOLOGÍA Y PAISAJE

Los suelos rojos del Valle del Guadalquivir se encuentran sobre areniscas finiterciarias y sedimentos calizos cuaternarios (Mudarra, 1974; Olmedo y Paneque, 1971; Paneque y Clemente, 1973; Estudios Agrobiológicos de Sevilla y Córdoba, 1962 y 1971).

Como secuencia típica puede tomarse la que se presenta en el Aljarafe → transición Aljarafe-Valle → terrazas del río.

En la zona del Aljarafe se tiene predominio total de suelos rojos, para en las vaguadas presentar suelo rojo más o menos degradado; poca extensión frente al anterior, acorde con la topografía.

En la zona intermedia los suelos degradados (pseudogleizados) ocupan áreas suficientemente grandes para ser recogidos como unidades cartografiables, suelos pardos hidromorfos. La topografía es más plana, siendo las vaguadas de tamaño más acentuado.

En la terraza del Mogollón, al ser prácticamente plana, el predominio es de los suelos degradados —suelos pardos hidromorfos—, apareciendo los rojos en los pocos puntos elevados que presenta su topografía. En esta terraza, bajo el suelo pardo, aparece suelo rojo enterrado y fosilizado. Solamente junto a la calzada romana, entre Torreblanca y la venta del Pino, hay suelo rojo sobre suelo rojo, al ser el punto más alto de la terraza. En el borde de terraza, en la Jarilla, el suelo pardo hidomorfo, con buen drenaje y aireación, tiende a enrojecerse.

Así pues, los suelos rojos y suelos pardos se encuentran asociados en el paisaje de la zona.

Mención especial merecen las cárcavas que aparecen en las areniscas-calizas del Aljarafe. Así, en Dehesa Juliana (Bollullos de la Mitación), en la colina del pinar, junto a la carretera, el aumento del tamaño de las cárcavas se produce según se baje en la colina; lleva aparejado un aumento en la potencia del horizonte B argílico. Tal situación se asocia a alteración de la caliza (Gigout, 1960).

#### MATERIAL Y MÉTODOS

Se consideraron tres perfiles de suelos rojos: Arahál y Montilla, representantes de su evolución normal, y Dehesa Juliana, que presenta ya cierta degradación.

Además, se considerarán un perfil de suelo pardo hidomorfo y un fragipan.

#### *Montilla (Córdoba)*

Prof. cms.	Horizonte	Descripción
0-35	Ap	Rojo amarillento (5 YR 4/8); limo-arenoso; estructura grumosa gruesa, moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; calizo; ligeramente orgánico; raíces finas y gruesas; buena actividad biológica; concreciones-calizas pequeñas, algunas gravas; límite gradual e irregular.



Prof. cms.	Horizonte	Descripción
35- 85	B <sub>2</sub>	Rojo (2,5 Y 4/6); limo-arcillo-arenoso; estructura poliédrica subangular gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; permeable; reacción al ácido no apreciable; ligeramente orgánico; algunas raíces; actividad biológica media; algunas gravas; límite gradual y liso.
85-115	B <sub>3</sub>	Rojo amarillento (5 YR 5/8); areno-limoso; estructura poliédrica subangular y grumosa gruesa, débil a moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; no calizo; algunas raíces; buena actividad biológica; límite claro y liso.
115-220	Cca	Amarillo pálido (2,5 Y 7/4); con manchas pardo amarillentas (10 YR 6/6) y vetas blancas; areno-limoso; estructura subpoliédrica media a débilmente desarrollada; friable; poroso; permeable; muy calizo; alguna actividad biológica; concreciones calizas.

### *El Arahal (Sevilla)*

Prof. cms.	Horizonte	Descripción
0- 20	Ap	Rojo amarillento (5 YR 4/8); limo arenoso; granos individuales y grumos medios ligeramente estructurados; friable; poroso; permeable; moderadamente orgánico; calizo; medianamente enraizado; actividad biológica media; algunos pequeños nódulos calizos; límite difuso e irregular.
20- 40	AB	Rojo amarillento (5 YR 4/6); limo arenoso; estructura grumosa media, ligeramente desarrollada y granos individuales; friable; poroso; permeable; moderadamente calizo; ligeramente orgánico; poco enraizado; actividad biológica media; límite gradual y liso.
40- 95	B <sub>3</sub>	Rojo oscuro (2,5 YR 3/6); limo arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular media, gruesa, de moderada a fuertemente desarrollada; friable a firme; poroso; permeable a poco permeable; no calizo; raíces finas; actividad biológica media; algunas gravillas; límite gradual o difuso, algo irregular; pseudomicelios.
95-115	B <sub>3-1</sub>	Rojo amarillento (5 YR 4/8); arenoso; estructura poliédrica subangular media a gruesa moderadamente desa-

Prof. cms.	Horizonte	Descripción
		rrollada y grumosa fina, poco desarrollada; friable; permeable; no caliza; algunas gravillas; límite difuso e irregular.
115-135	B <sub>3-2</sub>	Pardo amarillento (10 YR 5/6); arenoso; granos individuales; friable; poroso; permeable, no calizo; algunas gravillas; límite claro, algo ondulado.
135-200	Cca	Amarillo claro (2,5 Y 7/4); arenoso; arenisca del Plioceno con nódulos; costras calizas; restos fosilíferos y gravillas; poroso; permeable.

*Dehesa Juliana (Bollullos, Sevilla)*

Prof. cms.	Horizonte	Descripción
— 2- 0	A <sub>0</sub>	Restos vegetales más o menos descompuestos y mezclados con materia mineral.
0- 5	A <sub>1</sub>	Pardo oscuro (7,5 YR 3/2); limo arenoso; granos individuales y granos medios ligeramente estructurados; friable; poroso; muy permeable; no calizo; medianamente orgánico; moderado contenido en raíces de tamaño medio; límite claro y liso.
5- 12	A <sub>2</sub>	Rojo amarillento (5 YR 4/8); limo arenoso; granos individuales finos y sueltos; muy friable; poroso; muy permeable; no calizo; ligeramente orgánico; moderado contenido en raíces de tamaño medio; moderada actividad biológica; límite difuso e irregular.
12- 25	AB	Rojo (2,5 YR 4/6); limo arenoso; estructura grumosa y poliédrica subangular media moderadamente desarrollada; friable a firme; algo poroso; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; raíces medias y gruesas; moderada actividad biológica; límite claro y liso.
25- 55	B <sub>2</sub>	Rojo a rojo oscuro (2,5 YR 5/6); limo arcillo arenoso; estructura prismática poliédrica media, moderadamente desarrollada; firme; compacto; poco permeable; no calizo; algunos restos de raíces; ligeramente plástico y adhesivo; límite gradual e irregular.
55- 75	B <sub>3</sub>	Rojo amarillento (5 YR 4/6); limo arcillo arenoso; estructura poliédrica media y gruesa ligeramente desarrollada; firme; algo poroso; permeable; no calizo; límite claro e irregular.
75-200	Cca	Amarillo pálido (2,5 Y 4/8); limo arenoso; friable; poroso; permeable; muy calizo; con nódulos y vetas calizas blancas.

*Mogollón (La Rinconada, Sevilla)*

Prof. cms.	Horizonte	Descripción
0-20	Ap	Pardo amarillento (10 YR 4/4); areno limoso; granos individuales; muy friable a suelto; poroso; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; escasas raíces de tamaño medio; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas redondeadas de 2 a 10 mm. Ø; límite claro y liso.
20-45	Bg <sub>1</sub>	Pardo fuerte (7,5 YR 5/6); limo arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular fina a media, ligera a moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable, no calizo; ligeramente orgánico; escasas raíces medias y gruesas; mediana actividad biológica; concreciones ferruginosas abundantes; ligeramente plástico y adhesivo; límite difuso y liso.
45-70	Bg <sub>2-1</sub>	Pardo fuerte (7,5 YR 5/6); limo arcillo arenoso; estructura poliédrica media a gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; poco permeable; no calizo; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas más abundantes; ligeramente plástico y adhesivo; límite gradual y liso.
70-120	Bg <sub>2-2</sub>	Abigarrado: pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), pardo amarillento (10 YR 5/6), pardo oscuro (7,5 YR 5/6) y rojo amarillento (5 YR 4/6); arcillo arenoso; estructura prismática columnar gruesa, fuertemente desarrollada; duro a extremadamente duro; compacto; muy poco permeable; no calizo; escasas raíces finas y medias; moderado contenido en concreciones ferruginosas; revestimientos arcillosos; límite claro e irregular.
120-145	Bca	Igual color que el anterior con vetas blanco-amarillentas; limoso; estructura poliédrica subangular media a gruesa, moderadamente desarrollada; friable a firme; algo poroso; poco permeable; calizo; algunas raíces; concreciones calizas de 0,5 a 2 cms. de Ø; límite claro.
145-200	II B	Pardo rojizo (5 YR 4/3); limoso; estructura poliédrica subangular; firme a compacto; poco permeable; calizo; concreciones ferruginosas pequeñas y nódulos calizos.

*Pedro Toro (Salamanca)*

Prof. cms.	Horizonte	Descripción
0- 25	A	Pardo (10 YR 5/3); arenoso; estructura subangular, fina, débil; no adherente, no plástico, muy friable, blando de seco; muchos poros finos, continuos, caóticos; frecuente grava y piedra de cuarcita; abundantes raíces de todos los tamaños; límite neto y plano.
25- 50	II Bg <sub>21</sub>	Rojo amarillento (5 YR 5/6); arcilloso; estructura en bloques angulares, mediana, fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable, duro de seco; cutanes zonales de arcilla moderadamente espesos; frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos; raíces comunes de todos los tamaños; límite gradual y plano.
50- 80	II Bg <sub>22</sub>	Oliva (5 YR 5/3); muchas manchas, medianas, definidas, con límite difuso, de color rojo (10 R 4/3); arcillo arenoso; estructura en bloques angulares, mediana, fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme, duro de seco; cutanes zonales moderadamente espesos de arcilla; pocos poros finos y microporos, continuos, caóticos; pocas raíces muy finas y finas, muy pocas gruesas; transición gradual e irregular.
80-110	II Cg <sub>1</sub>	Oliva (5 YR 5/3); rodeado por manchas grandes, definidas, de límite neto, de color rojo (2,5 YR 4/6) de óxidos de hierro; areno arcilloso; sin desarrollo de estructura, fracturado en grandes bloques romboédricos; no adherente, no plástico, firme, muy duro de seco; cutanes zonales, rodeando los romboedros, moderadamente espesos de arcilla; pocos poros finos y microporos, continuos, caóticos; pocas raíces muy finas y finas a través de la separación de los romboedros; límite gradual y plano.
140-	II Cg <sub>2</sub>	Pardo amarillento claro (2 YR 6/4); con muchas manchas medianas, destacadas, de límite difuso, de color rojo (10 R 4/6); arenoso grueso, algo arcilloso; sin desarrollo de estructura; ligeramente adherente, no plástico, friable, muy duro de seco; continúan las separaciones romboédricas, igual que en el horizonte superior, pero revestidas de material blanco ligeramente duro; muy pocas raíces muy finas.



Los métodos seguidos son los generales químicos y físicos, según se indica en la relación siguiente:

Análisis químico total de suelo total (Jacob, 1944); materia orgánica y carbono orgánico (Walkley y Black, 1934); nitrógeno (Jackson, 1958); acidez (Hernando y Sánchez Conde, 1954); carbonatos (Hidalgo y Candela, 1958); capacidad de cambio e iones cambiables (Schollenberger y Simón, 1945; Tucker, 1954); análisis mecánico (DeLeenher, 1955); hierro libre (Deb, 1950; Robichet, 1957); análisis térmico diferencial de arcillas (Mackenzie, 1957; Segalen, 1964); difracción de rayos X (Brown, 1961; Iwasa, 1963); micromorfología (Kubiena, 1938 y 1953; Brewer, 1964), y micromorfometría (Jongerijs et al., 1972).

## DISCUSIÓN

### *Consideraciones generales*

Si se analizan las circunstancias climáticas de la zona y los datos químicos y físico-químicos de los suelos mencionados, se intuirá la tendencia general de la edafogénesis de la zona.

El clima se caracteriza por dos períodos marcados: invierno con lluvia y temperaturas bajas o moderadas, y verano seco con temperaturas moderadas y altas (estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla, 1962). Favorable, por tanto, a una ligera evolución de los suelos.

La reacción de estos suelos es neutra y el complejo de cambio se encuentra saturado en calcio, en los suelos rojos. Al degradarse, el complejo se insatura, aunque sigue como catión dominante el calcio (tabla I). Tales datos indican estabilidad.

El contenido de hierro total en el suelo y en las distintas fracciones, y el análisis mecánico (tablas II y III), están relacionados: aumento del contenido de arcilla con densificación de la contextura (tabla V), aumento circunstancias subcutánicas ferruginosas y aumento contenido de hierro en suelo total y fracción arcilla.

Los datos de rayos X y A. T. D. (Olmedo y Paneque, 1971; V) indican predominio de óxidos de hierro amorfos, y presencia de goethita en todos los suelos mencionados.

El resumen de estos datos es el de suelos estables en los que el hierro se asocia a la fracción arcilla, más o menos deshidratado pero amorfo; el clima es el responsable de tal situación, al ser la única circunstancia común a todos ellos.

Micromorfológicamente, la asociación arcilla-hierro se encuentra en las circunstancias subcutánicas, así como en los nódulos y concreciones de estos suelos (tabla IV).

La génesis de los suelos rojos, como el resto de los suelos de la zona, está dominada por el clima, que origina movilizaciones invernales de

TABLA I

## Reacción y cationes de cambio

Horizonte	pH		Bases cambiables / me/100 gr.				S	T	V
	H <sub>2</sub> O	ClK	Ca	Mg	Na	K			
<i>Montilla</i>									
Ap ... ..	7,8	6,9	7,2	1,4	—	0,3	8,9	8,9	100,0
B <sub>2</sub> ... ..	7,5	6,8	17,5	1,4	—	0,3	19,2	19,3	99,4
B <sub>3</sub> ... ..	7,5	6,9	13,6	1,6	—	0,1	15,3	17,8	85,6
Cca ... ..	8,0	7,8	2,6	1,7	—	0,0	4,4	4,4	100,0
<i>Arahal</i>									
Ap ... ..	8,1	7,0	5,4	1,0	—	0,3	6,8	6,8	100,0
AB ... ..	7,9	7,0	4,4	1,0	—	0,2	5,7	5,7	100,0
B <sub>2</sub> ... ..	7,7	6,7	6,4	1,6	—	0,3	8,4	8,4	100,0
B <sub>3-1</sub> ... ..	7,9	6,9	4,0	1,0	—	0,1	5,2	5,2	100,0
B <sub>3-2</sub> ... ..	8,0	7,0	2,6	0,8	—	0,0	3,5	3,5	100,0
Cca ... ..	8,4	7,4	3,3	0,3	—	0,0	3,7	3,7	100,0
<i>Dehesa Juliana</i>									
A <sub>1</sub> ... ..	6,8	6,0	11,5	2,3	—	0,6	14,4	14,5	99,1
A <sub>2</sub> ... ..	6,9	6,2	5,0	1,6	—	0,4	7,0	7,0	100,0
AB ... ..	6,6	5,7	7,8	1,4	—	0,5	9,7	11,0	87,7
B <sub>2</sub> ... ..	6,4	5,4	12,2	1,9	—	0,4	14,6	17,3	84,3
B <sub>3</sub> ... ..	6,7	5,7	12,8	1,4	—	0,2	14,5	14,5	100,0
Cca ... ..	7,8	6,9	5,8	1,0	—	0,1	7,0	7,0	100,0
<i>Mogollón</i>									
Ap ... ..	6,2	5,4	2,6	0,4	—	0,1	3,1	3,4	93,5
Bg <sub>1</sub> ... ..	6,2	5,3	5,4	1,9	—	0,1	7,5	7,5	100,0
Bg <sub>2-1</sub> ... ..	6,0	5,0	7,4	2,7	—	0,1	10,3	14,7	70,3
Bg <sub>2-2</sub> ... ..	5,9	5,2	12,8	4,2	0,5	0,1	17,7	17,7	100,0
Bca ... ..	7,6	6,6	7,4	5,6	0,8	0,1	13,9	13,9	99,9
II B ... ..	7,5	6,9	12,3	5,4	0,9	0,1	18,8	18,8	100,0
<i>Pedro Toro</i>									
A ... ..	6,0	4,8	3,1	1,9	0,2	0,1	5,3	6,6	81,2
II B <sub>21g</sub> ... ..	5,2	4,0	8,0	6,5	0,3	0,1	14,9	25,1	59,2
II B <sub>22g</sub> ... ..	5,2	4,0	7,3	5,4	0,2	0,0	13,0	23,4	55,6
II C <sub>1g</sub> ... ..	5,3	4,0	5,9	3,6	0,2	0,0	9,8	12,6	78,0
II C <sub>2g</sub> ... ..	5,4	4,2	7,4	4,0	0,3	0,0	11,7	14,9	78,7

TABLA II

Distribución de tamaño de partículas y materia orgánica

Horizonte	Ar. gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	M. O.	N	C/N	CO <sub>2</sub> Ca
<i>Monilla</i>								
Ap ... ..	40,1	35,4	9,8	13,9	0,19	0,01	11,0	4,0
B <sub>2</sub> ... ..	36,1	26,2	3,8	33,2	0,86	0,05	10,0	0,6
B <sub>3</sub> ... ..	59,2	27,1	2,6	9,7	0,03	0,01	2,0	—
Cca ... ..	51,4	31,2	6,3	9,8	0,19	0,01	11,0	57,8
<i>Arahal</i>								
Ap ... ..	34,1	46,8	5,3	11,9	0,69	0,04	10,0	12,4
AB ... ..	42,9	36,1	4,3	16,8	0,60	0,04	8,7	5,6
B <sub>2</sub> ... ..	10,6	53,8	13,7	22,6	0,22	0,02	6,5	0,0
B <sub>3-1</sub> ... ..	69,1	19,5	3,4	6,3	0,03	0,004	5,0	0,0
B <sub>3-2</sub> ... ..	70,7	19,5	3,4	6,2	0,03	0,01	2,0	0,0
Cca ... ..	61,8	26,4	5,8	3,3	0,00	0,00	—	26,6
<i>Dehesa Juliana</i>								
A <sub>1</sub> ... ..	4,2	71,9	6,2	16,8	5,84	0,23	14,7	—
A ... ..	8,1	61,9	14,6	14,3	2,72	0,08	17,2	—
AB ... ..	6,8	63,7	8,1	20,9	2,04	0,07	17,0	—
B <sub>2</sub> ... ..	16,8	43,2	4,1	35,6	0,45	0,03	8,6	0,4
B <sub>3</sub> ... ..	3,9	62,3	7,2	25,6	0,26	0,02	7,5	0,3
Cca ... ..	11,8	72,3	5,9	9,8	0,26	0,01	15,0	57,9
<i>Mogollón</i>								
Ap ... ..	33,6	36,8	11,9	15,4	0,19	0,01	11,0	—
Bg <sub>1</sub> ... ..	15,1	36,2	7,9	39,4	0,34	0,03	6,6	—
Bg <sub>2-1</sub> ... ..	24,5	42,3	6,2	26,7	0,10	0,01	7,0	—
Bg <sub>2-2</sub> ... ..	17,2	31,5	2,8	48,1	0,07	0,01	4,0	—
Bca ... ..	13,3	30,4	10,5	45,6	0,03	0,001	20,0	4,1
II B ... ..	27,7	43,2	6,9	19,8	0,00	0,001	0,0	5,3
<i>Pedro Toro</i>								
A ... ..	39,5	31,5	12,0	11,5	2,12	0,086	14,3	—
II B <sub>21g</sub> ... ..	8,0	35,0	14,0	40,5	0,65	0,049	7,7	—
II B <sub>22g</sub> ... ..	11,0	41,5	13,0	33,0	0,39	0,037	6,2	—
II C <sub>1g</sub> ... ..	37,0	36,0	10,5	15,7	0,08	0,019	2,6	—
II C <sub>2g</sub> ... ..	66,0	8,5	4,7	19,8	0,06	0,016	2,5	—

TABLA III

*Hierro total en suelo y fracciones de hierro libre en suelo*

Horizonte	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total suelo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre suelo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> arcilla	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> limo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> arena fina	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> arena gruesa
<i>Montilla</i>						
Ap ... ..	2,02	0,77				
B <sub>2</sub> ... ..	3,75	1,16				
B <sub>3</sub> ... ..	1,53	0,68				
Cca ... ..	0,83	0,30				
<i>Arahal</i>						
Ap ... ..	1,68	0,98				
AB ... ..	2,32	1,39				
B <sub>2</sub> ... ..	4,32	1,96				
B <sub>3-1</sub> ... ..	1,42	0,95				
B <sub>3-2</sub> ... ..	1,32	0,82				
Cca ... ..	0,71	0,40				
<i>Dehesa Juhana</i>						
A <sub>1</sub> ... ..	1,22	0,71	10,14	2,02	0,41	1,04
A <sub>2</sub> ... ..	0,98	0,36	9,65	1,97	0,41	0,61
AB ... ..	1,35	0,69	10,24	2,13	0,73	0,46
B <sub>2</sub> ... ..	3,85	1,03	11,84	3,40	0,61	0,89
B <sub>3</sub> ... ..	3,22	0,82	11,69	2,94	0,81	0,67
Cca ... ..	0,78	0,31	10,32	2,00	0,71	0,47
<i>Mogollón</i>						
Ap ... ..	1,00	0,64	8,83	1,61	0,61	1,83
Bg <sub>1</sub> ... ..	1,42	0,88	9,06	1,96	0,66	1,11
Bg <sub>2-1</sub> ... ..	4,06	1,11	12,95	3,30	1,17	2,19
Bg <sub>2-2</sub> ... ..	4,41	1,11	11,11	3,06	1,02	1,92
Bca ... ..	4,38	1,10	9,69	7,15	1,06	0,86
II B ... ..	4,62	0,81	9,79	7,33	1,13	0,79
<i>Pedro Toro</i>						
A ... ..	1,35	2,40				
II B <sub>21g</sub> ... ..	5,85	3,10				
II B <sub>22g</sub> ... ..	5,00	2,50				
II C <sub>1g</sub> ... ..	2,35	2,60				
II C <sub>2g</sub> ... ..	1,55	3,50				



TABLA IV (1)

## Descripción micromorfológica

Horizontes Conceptos micromorfológicos	Montilla				Arahal					Dehesa Juliana					
	A <sub>p</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>ca</sub>	A <sub>p</sub>	AB	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>ca</sub>	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	AB	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>ca</sub>
<i>Distribución básica de la arena fina</i>															
Azar ... ..				+					+			+			
Bandas ... ..												+			+
Triangular ... ..			+	+					+					+	+
Almadrada ... ..	+	+			+					+		+			
Elíptica ... ..	+	+				+		+	+	+		+	+		
Redondeada ... ..		+	+		+	+	+	+					+	+	+
Concéntrica ... ..												+	+		
<i>Distribución relacionada plasma-granos del esqueleto</i>															
Porfiroscúlica ... ..		+					+					+	+		
Aglomeroplásmica ... ..	+				+	+	+	+	+	+		+		+	
Intertéctica ... ..											+				
Granular ... ..											+				
<i>Contextura plásmica</i>															
Cristic ... ..				+	+				+						+
Argilasepic ... ..											+				
Silasepic ... ..															
Insepic ... ..	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+			
Mosepic ... ..		+													
Vosepic ... ..															
esquelsepic ... ..	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Masepic ... ..		+					+	+					+		
Lattisepic ... ..															
Omnisepic ... ..															
<i>Glaebulas</i>															
Nódulos... ..	+	+		+	+		+		+				+		
Concreciones ... ..															
<i>Rasgos subcutánicos</i>															
Neocutans ... ..															
Quasicutans ... ..															
Transcutans ... ..	+	+			+	+	+	+		+	+	+	+	+	

TABLA IV (2)

## Descripción micromorfológica

Horizontes Conceptos micromorfológicos	Mogollón					Pedro Toro				
	A <sub>o</sub>	B <sub>g1</sub>	B <sub>g21</sub>	B <sub>g22</sub>	B <sub>ca</sub>	IIB	A	IIB <sub>21g</sub>	IIC <sub>1g</sub>	IIC <sub>2g</sub>
<i>Distribución básica de la arena fina</i>										
Azar ... ..							+	+		
Bandas ... ..	+							+	+	
Triangular ... ..					+	+				
Almadrado ... ..	+			+						
Redondeado ... ..	+	+	+	+	+	+			+	
Concéntrico ... ..			+					+	+	
Encajados ... ..										+
<i>Distribución relacionada plasma-granos del esqueleto</i>										
Porfiroscélica ... ..		+	+	+	+	+		+	+	
Aglomeroplásmica ... ..	+	+	+				+			+
Intertéctica ... ..		+					+			
Granular ... ..										
<i>Contextura plásmica</i>										
Cristic ... ..										
Argilasepic ... ..										
Silasepic ... ..							+			
Insepic ... ..	+	+	+						+	
Mosepic ... ..										
Vosepic ... ..			+	+	+	+		+	+	
Esquelsepic ... ..	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Masepic ... ..								+	+	+
Lattisepic ... ..										
Omnisepic ... ..										
<i>Glaebulas</i>										
Nódulos... ..		+	+	+	+	+		+	+	
Concreciones ... ..	+	+	+	+	+					
<i>Rasgos subcutánicos</i>										
Neocutans ... ..										
Quasicutans ... ..								+	+	
Transcutans ... ..										

plasma arcillo-ferruginoso en distancias muy cortas, estabilizados por el fuerte calentamiento veraniego. Como resultado de ello, los suelos rojos presentan un entramado de circunstancias subcutánicas, que es lo que les define (Reynders, 1972; Kubiena, 1953).

Las circunstancias subcutánicas han sido definidas por Brewer (1963), pero las mencionadas no encajan en su esquema, por lo que se propone el término de «transcután», al que se define como:

Aquellas circunstancias subcutánicas que no se encuentran asociadas a las superficies internas naturales de los suelos —superficies de agregados, canales, cámaras, etc.—, sino que en el horizonte superficial se observan concentraciones arcillo-ferruginosas isótropas dispuestas, a grosso modo, paralelamente a la superficie, y, en los horizontes B, forman un entramado más o menos denso y con cierta anisotropía; tanto en un caso como en otro, como ya se ha indicado, no se asocian a ninguna superficie interna del suelo, incluso es fácil encontrar abarquen varios agregados a través de los planos de separación. En definitiva es «a través» de la masa del suelo como aparece este tipo de circunstancia subcutánica, de ahí el término propuesto: *Transcutan* (fot. 1).

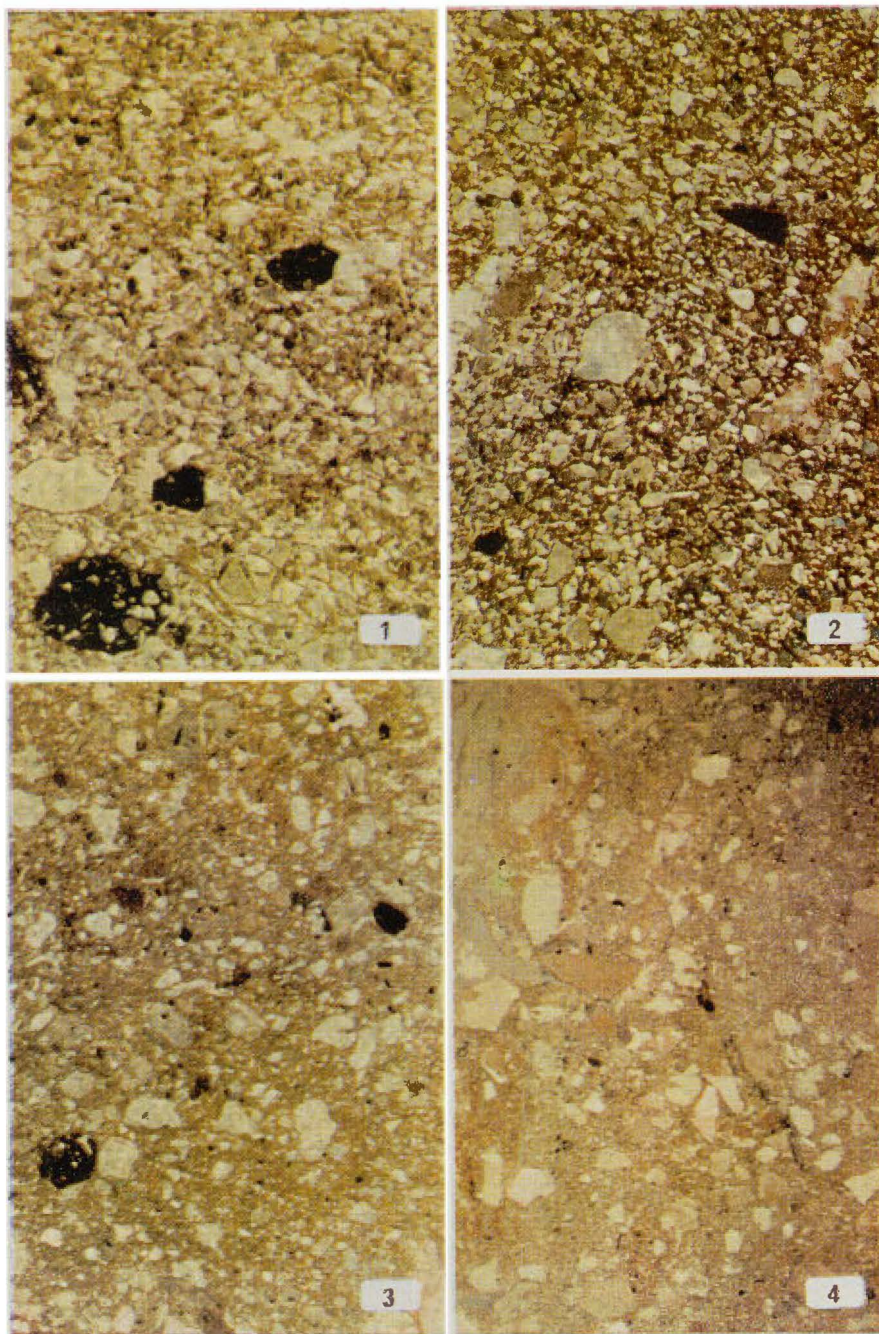
#### *Dinámica de los suelos rojos*

Los suelos rojos presentan en su horizonte superficial transcutanes isótropos originados en el embarramiento superficial que se produce tras las lluvias; gran parte del material del embarramiento es de origen eólico y de la erosión en capas. A lo largo del horizonte A es factible observar varios transcutanes, siempre con tendencia paralela a la superficie del suelo, apareciendo incluso casi en el límite con el horizonte B; se explica por el hecho de que al ser geles de arcilla-hierro, que el calor veraniego no tiene la capacidad de envejecer e inactivar, en los años de pluviosidad adecuada vuelven a activarse progresando en profundidad, siempre en distancias cortas, pero continuando siempre que se presenten las condiciones adecuadas de humedad, hasta incorporarse al horizonte B (fot. 2).

Hasta ahora los horizontes B argílicos de los suelos rojos mediterráneos han sido considerados Bt dinámicos (Fedoroff, 1968) o Bt semi-dinámicos (Paneque, com. privada), en los que se supone existió una iluviación antigua; sus cutanes se han embutido en la masa del suelo con el transcurso del tiempo, debido a las tensiones que hay en estos suelos y donde la contextura maséptica es el testigo de tal proceso. Sin embargo, no se observan nódulos distorsionados y rotos, ni ningún cutan embutido o embebido en la masa del suelo que pueda observarse en la actualidad.

Los transcutanes forman un entramado en los horizontes B, ya anisó-





- Fot. 1.—Suelo rojo; horizonte Ap: inicio transcutanes.  $\times 14,68$ .
- Fot. 2.—Suelo rojo; horizonte B<sub>2</sub>: transcutanes, disposición concéntrica de granos del esqueleto y floculos de plasma en huecos.  $\times 9,15$ .
- Fot. 3.—Suelo pardo lavado hidromorfo; horizonte B<sub>2g</sub>: inicio concreción y concreciones formadas.  $\times 14,68$ .
- Fot. 4.—Fragipan: restos de material transcutáneo asociado a la disposición de los granos del esqueleto.  $\times 3,67$ .



tropos, originado en la acumulación sucesiva de los transcutanes del horizonte A, que una vez en el B se encuentran sometidos a tensiones que producen su anisotropía. Así pues, la densificación de los transcutanes en el horizonte B es lo que marca la iluviación de los suelos rojos, por lo que su cuantificación marcará la relación de iluviación.

La cuantificación se ha efectuado mediante la utilización del sistema óptico-electrónico de análisis de imágenes Videomat Zeiss, que ha permitido la obtención de los datos siguientes:

TABLA V

*Cuantificación transcutanes en el perfil Arahal*

Horizonte	Area	Semiperímetro	Número transcutanes
A <sub>p</sub>	99.94	3161.66	280.65
AB	123.7	4258.3	399.7
B <sub>2</sub>	302.8	6403.3	178.0

Donde los números de la primera columna son área ocupada por los transcutanes, considerando mil la superficie total. Se observa que los más individualizados son los del horizonte Ap, al ser la relación semiperímetro/área, la de este horizonte, la mayor, y porque el número de transcutanes —relación núm. transcutanes/área— es máxima igualmente en Ap. A la inversa, los más interconectados, formando el entramado típico del horizonte B. La relación de áreas entre los horizontes B<sub>2</sub> y Ap es mayor de 1,2, por lo que no hay duda sea horizonte argílico, considerándose esta medida adecuada como índice de lavado.

Además, se observan flóculos arcillosos en los huecos, mecanismo complementario de lavado (fot. 2).

#### *Degradación (pseudogleysación)*

Una vez llegado al nivel máximo de desarrollo el suelo rojo, máxima potencia del horizonte B argílico, comienza su degradación. Previamente, se ha ido viendo a lo largo de los distintos estadios de evolución de estos suelos, los granos de arena fina y de limo grueso tienen inicialmente una distribución de triángulos yustapuestos que, según evoluciona el suelo, toman formas almendradas, elípticas y finalmente redondeadas; aparte, se observan líneas rectas de granos de cuarzo originadas, posiblemente, en el relleno de antiguos planos. Una vez con disposición redondeada, es posible encontrarse disposiciones concéntricas

que, finalmente, son los puntos de atracción donde se concentra la masa arcillo-ferruginosa transcutánica en la pseudogleyización.

Por tanto, la reordenación de los granos del esqueleto se debe a las condiciones de humedad del perfil, aunque las primeras formas redondeadas, en los horizontes A, se deben, además, a la presencia de raíces y granos de arena más gruesos, que hacen de centro. Si la hidromorfía es suficiente, se produce la desaturación de los iones cambiables del suelo, con lo que el material transcutánico arcilla-hierro tendrá una gran capacidad de movilización (fot. 2).

Formados los puntos de concentración de granos de arena fina y limogruoso, en cuyo centro hay manchas arcillosas más oscuras, posiblemente de origen bacteriano, que son los centros de atracción de los transcutanes arcillo-ferruginosos; llegan a formar nódulos y concreciones. Las propiedades físicas y químicas de estos suelos se empeoran notoriamente. Es la pseudogleyización.

El suelo pardo hidromorfo de terraza, evolución paralela al suelo rojo, presenta una matriz similar a la amarillenta de los suelos rojos, mientras la pardo rojiza de los transcutanes de los suelos rojos no aparece. Al existir humedad excesiva, los transcutanes no se estabilizan, al no estar saturada la capacidad de cambio del suelo (tabla I), sino que progresan y, generalmente, en un solo ciclo, pasan a concreciones. A veces, el material transcutánico progresa sin llegar a concreciones, quedando asociado a grietas y planos de retracción del suelo. Es la pseudogleyización en los suelos pardos hidromorfos (fot. 3).

En estos suelos, por tanto, el material transcutánico se convierte en concreciones rápidamente (inactivación), debido al exceso de humedad que siempre presentan.

Así pues, suelos rojos con exceso de humedad pueden degenerar rápidamente a suelos pseudogleyizados (Arahal-Dehesa Juliana), con lo que sus propiedades físicas y químicas empeorarían sensiblemente. Es por ello que los suelos rojos sometidos a riego se han de manejar con sumo cuidado: laboreo inadecuado y riego excesivo pueden originar su destrucción, al desaturarse y mobilizarse la arcilla. Adiciones periódicas de caliza solventarían en parte tal peligro.

### *Fragipanización*

Pseudogleyizado el suelo, con sus puntos de concentración de los transcutanes arcillo-ferruginosos, si las condiciones de drenaje mejoran y las lluvias aumentan sensiblemente, se observará la desaparición de gran parte del plasma arcillo-ferruginoso, permaneciendo sólo los núcleos de atracción degradativa; son ahora centros de los polígonos arenolimosos en que divide la estructura de tales horizontes, al desaparecer

la arcilla y secarse. Esto es lo que ha podido ocurrir en el perfil de Pedro Toro (Salamanca) (fot. 4).

Los fragipanes no tienen por qué provenir de un suelo rojo, pero sí es posible provengan de un suelo pseudogleizado o gleyizado.

### CONCLUSIONES

Los geles de hierro y arcilla no llegan a envejecer y estabilizarse en los suelos rojos del Valle del Guadalquivir. El elevado contenido de hierro libre, y de óxidos y oxihidróxidos de hierro amorfo (Deb, rayos X y A. T. D.) lo confirman.

Presencia de transcutanes en el horizonte A por acción pluvial, origen eólico y erosivo; su concentración en el horizonte B origina la acumulación de arcilla que lo convierte en argílico. Las tensiones del horizonte B los convierten en anisótropos, de isotropos que eran en el horizonte A, debido al embarramiento.

Los granos de arena fina y limo grueso presentan una distribución triangular, luego almendrada y finalmente redondeada. En esta última se disponen varias capas concéntricas, más acentuada mientras más hidromorfía exista.

Al existir hidromorfía, la capacidad de cambio del suelo se desatura, con lo que la arcilla tiende a desplazarse a centros de atracción y son los de las capas concéntricas de los granos de cuarzo.

Exceso de riego y mal manejo del suelo pueden originar desaturación del suelo rojo y posterior degradación (pseudogleización); sus propiedades agrícolas empeorarían notablemente. Adiciones periódicas de caliza solventarían semejante problema.

Suelo pseudogleizado, con mejoramiento de drenaje y aumento de la lluvia, puede originar fragipán.

### RESUMEN

Transcutanés son geles de arcilla-hierro que profundizan «a través» de la masa del suelo, sin estar asociados a superficies internas naturales. Los suelos rojos presentan transcutanes isotropos en horizonte A, originados por embarramiento del material eólico y de la erosión en capas al llover; al pasar al horizonte B, sus tensiones los pasan a anisótropos; su acumulación en el B frente a su contenido en el A es el índice de lavado de estos suelos. La degradación del suelo rojo se inicia con la ordenación de los granos de arena fina en formas redondeadas y concéntricas, cuyos centros son los puntos de atracción del material transcutánico, posiblemente de origen bacteriano. Con suelo pseudogleizado, si las condiciones de drenaje mejoran y aumentan el lavado, permanecen solamente los centros de atracción, que quedarán como centros de los poliedros en que rompe la masa del suelo areno-limosa, al haberse lavado casi totalmente la arcilla que contenía el horizonte degradado: génesis de los fragipanes.

## BIBLIOGRAFÍA

- BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley and Sons, Inc.
- BROWN, G. 1961. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. Mineralogical Soc., Londres.
- CLEMENTE, L. 1973. Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Guadalquivir. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias de Sevilla (Dir. T.: Pr. Dr. G. Paneque).
- DEB, B. C. 1950. Determination of free iron oxides in soils and clays and their removal. J. Soil Sci., 1, 212-220.
- DELEENHER et al. 1955. L'analyse mécanique au moyen de l'hydrometre à chaîne. Silic. Indust., 20, 237.
- Estudio Agrobiológico de la provincia de Sevilla. 1962. C. E. B. A. C., Diputación Provincial de Sevilla.
- Estudio Agrobiológico de la provincia de Córdoba. 1971. C. E. B. A. C., Diputación Provincial de Córdoba.
- FEDOROFF, N. 1968. Genese et morphologie de sols a horizon B textural en France Atlantique. Science du sol, 1968, 29-63.
- GIGOUT, M. 1960. Nouvelles recherches sur le Quaternaire marocain et comparaisons avec l'Europe. Nouvelle Serie núm. 6. Faculté des Sciences de Lyon.
- GUERRA, A. 1972. Los suelos rojos en España. Departamento de Suelos. Instituto de Edafología, Madrid, C. S. I. C.
- HERNANDO Y SÁNCHEZ CONDE, 1954. Estudio del pH en suelos de distintas características. A. Edaf. y Fis. Veg., 13, 737-766.
- HIDALGO Y CANDELA, 1958. El poder clorosante de los suelos calizos en el viñedo. Bol. Inst. N. Inv. Agron., XVIII, 383-440.
- IWASA, Y. 1963. Iron hydroxides in soils. 2. Crystallographic studies of iron hydroxides by treatment with 5 N NaOH. J. Sci. Soil Tokyo, 34, 335-338.
- JACKSON, M. L. 1958. Soil chemical analysis. Constable and Co., Ltd., London.
- JACOB, J. 1944. Guía para el análisis de las rocas. C. S. I. C., Madrid.
- JONGERUS, A., SCHOONDERBEEK, D., JAGER, A. y KOWALINSKI, St. 1972. Electro-optical soil porosity investigation by means of Quantimet-B equipment. Geoderma, 7, 177-198.
- KUBIENA, W. L. 1938. Micropedology. Collegiate Press Inc., Ames, Iowa.
- KUBIENA, W. L. 1953. Claves sistemáticas de suelos. C. S. I. C., Madrid.
- MUDARRA, J. L. 1974. Estudio de los suelos de la cuenca del Guadalquivir. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias de Sevilla.
- OLMEDO, J. y PANEQUE, G. 1971. Contenido, formas y distribución del hierro en suelos de Andalucía Occidental. I. Condiciones ambientales y descripción de perfiles. An. Edaf. Agrob., XXX, 457-481.
- OLMEDO, J. y PANEQUE, C. 1971. Oxidos e hidróxidos de hierro en la fracción arcilla. An. Edaf. Agrob., XXX, 665-680.
- PANEQUE, G. 1972. Horizontes semidinámicos en los suelos mediterráneos. Comunicación privada.
- Reunión sobre los suelos del Centro-Oeste de España. Guía de suelos. Centro de Edafología de Salamanca, 1974.
- REYNDERS, J. J. 1972. A study of argillic horizons in some soils in Morocco. Geoderma, 8 (4), 267-279.



- ROBICHET, O. 1957. Investigation on iron and manganese oxides in soils. *Ann. Agron.*, 8, 511-570.
- SCHOLLEMBERGER, C. J. y SIMON, R. H. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil. Ammonium acetate method. *Soil Sci.*, 59, 13-24.
- TUCKER, B. M. 1954. The determination of exchangeable calcium and magnesium in carbonate soils. *Aust. J. Agric. Res.*, 5, 706-714.
- WALKLEY, A. y BLACK, I. A. 1934. An examination of the Digtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37, 29-38.

Recibido para publicación: 8-I-75

# POSITIVE AND NEGATIVE ROOT MEMBRANE POTENTIALS

by

E. A. FERREIRO and A. K. HELMY

## RESUMEN

### POTENCIALES POSITIVOS Y NEGATIVOS DE RAICES

Las raíces de cebada, trigo, agropiro alargado, centeno, vicia y pepino presentan principalmente potenciales positivos cuando son colocadas como membranas en una celda de concentración con dos soluciones idénticas de KCl 0.001 M. Bajo las mismas condiciones de medición, un pequeño porcentaje de raíces de las mencionadas plantas presentan potenciales negativos. Además, se ha observado que algunas raíces que dan signos negativos cambian al signo positivo durante las mediciones. También la magnitud de los potenciales positivos aumenta generalmente con el tiempo. Un pretratamiento de las raíces, durante media hora, con soluciones de KCl, parece ser suficiente para excluir la posibilidad de encontrar raíces que den potenciales negativos en la celda de concentración anteriormente mencionada. Estas observaciones son explicadas en términos de la actividad del KCl dentro y fuera de la raíz. Cuando la actividad del KCl es mayor en la raíz que en las soluciones colocadas fuera de ella, la difusión de la sal ocurre desde la raíz hacia las soluciones externas y como resultado de esto se produce un potencial de difusión positivo en la celda, y viceversa, para la producción de un potencial negativo. Cuando en la celda electroquímica no existen gradientes de actividad del KCl entre la raíz y las dos soluciones externas, el potencial de la raíz desaparece.

## INTRODUCTION

By interposing plant roots as membranes in membrane concentration cells, some electrochemical properties of plant roots such as the sites of the electric potential, the dependence of the sign and magnitude of the potential on pH and electrolyte concentration, the multi-zonal character of the root as a membrane, the ion transport in the root base zone and others were investigated (8, 4, 5, 6, 7).

Furthermore, it has been shown that when the two KCl concentrations on both sides of a barley root are equal (see cell (1) below) the emf measured is positive for the case when the KCl concentration in

the cell is below 0.04 M, and becomes negative for concentrations of KCl above this value.

During our extensive measurements with roots from different plants, we observed that though the majority of the roots give rise to emf values with positive signs when the concentration of the two KCl solutions in cell (1) is equal to 0.001 M, few roots produce emf values with negative signs. Moreover, these negative potentials may change to positive ones during the measurements.

The purpose of the work reported here is therefore, to examine the problems concerned with the sign of the measured root potentials and to offer possible explanations.

#### MATERIALS AND METHODS

One-week old roots of barley, wheat, tall wheatgrass, rye, vetch and cucumber (*Hordeum vulgare*, *Triticum durum*, *Agropyron elongatum*, *Secale cereale*, *Vicia sativa* and *Cucumis sativus*, respectively) were obtained by a water culture technique in which the plants are maintained on a dilute nutrient solution; (One tenth the solution given by Hoagland and Arnon, 1950) (11). The experimental set-up used for the measurements of the electric potentials has been given earlier (4). The electrochemical cell used may be written as:



In this cell the same KCl concentration of 0.001 M was present on both sides of the root and the root tip was placed always in contact with the KCl solution written on the RHS of the cell. The calomel on the right is the positive pole of the cell. Fifty roots from each species were used in each potential determination and the numbers of roots that gave positive and or negative values were recorded.

Also the sign and value of the potential were determined as a function of time and of pretreatment of roots with KCl.

The pretreatments involved placing roots immediately after their excision in KCl solutions having concentrations of 0-0.1 M. The potential measurements were started after the roots have remained at least one half hour in any of these solutions. The object of the pretreatment was to equilibrate the root free spaces with the ambient KCl (1).

## RESULTS

The results of the experiment in which the potentials were measured as a function of time for roots left all the time in distilled water are given in Fig. 1. It is observed that the percentage of roots exhibiting positive potentials are much greater than those showing negative potentials. This is true for all the species studied. Furthermore, the percentages of roots showing positive potentials increase with time. This indicates that with time some roots change from exhibiting negative to exhibiting positive potentials.

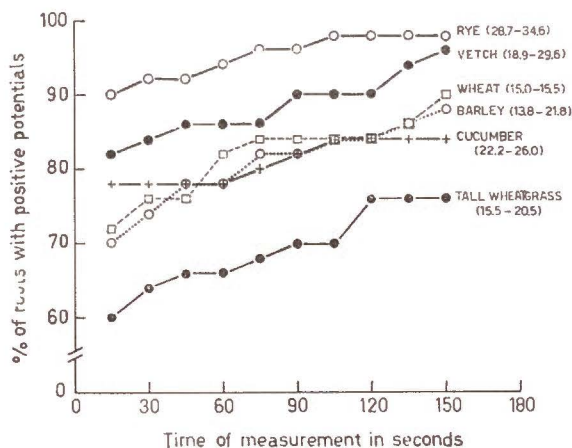


Fig. 1.—The variation with time of the percentage of roots giving positive potentials in cell (1). Values between parenthesis are the average potentials in millivolts measured at 15 and 150 seconds consecutively.

For all plants, the positive potential values were found to increase gradually with time.

The results given in Table I show that the pretreatment of roots with KCl increase both the percentages of roots with positive potentials as well as the value of the potential. Pretreatments of cucumber roots with 0.05 and/or 0.1 M KCl produced roots that exhibit only positive potentials in cell (1). For rye low KCl concentrations were found sufficient to produce the same effect.



TABLE I

*The average positive and negative root potentials in millivolts and the percentage of roots giving negative signs of potential as a function of pretreatment in KCl solutions of different concentrations*

Parameter measured	Plant	KCl conc. mmol/l				
		0	1	10	50	100
Average positive .....	Cucumber	22,8	22,6	32,3	36,8	40,6
Potential (mV) .....	Rye	33,8	34,1	36,1	36,6	43,6
Percentage giving .....	Cucumber	16	5	5	0	0
Negative signs .....	Rye	10	0	0	0	0
	Wheat	8,8				
	Cucumber	9,3				
	Barley	12,4				
Average negative potential (mV)	Tall wheat-grass	10,8				
	Rye	14,4				
	Vetch	8,6				

## DISCUSSION

It may be mentioned that a positive or a negative root membrane potential and its magnitude depends on the transport numbers of the cations and anions and on the ionic concentration gradients along the diffusion routes inside the root. These numbers depend among other things on the sign and intensities of the electric fields found in these routes. These fields originate from the dissociation-association equilibrium of the root acidic and basic groups. Hence the pH value and the ionic concentration in the diffusion paths are two of the more important factors that determine the sign and magnitude of the measured potential.

The ion diffusion paths are connected or form a part of the root free spaces. Normally the free spaces contain solutions of a composition that depends on the amounts of solutes received principally from the root environment, and on the amounts of metabolites that leave to the root surroundings or to other parts of the plant. Among the principal components of the solution in the free space are the hydrogen ions that are normally released by the root to its environment (10, 14).

It has been reported earlier (8), that immersing the root tip, during measurements, in KCl solutions of different pH values affects the values of the root potentials.

The lower the pH the lower the measured potential. At a pH known as the point of zero charge the potential vanishes. Lowering the pH beyond that point gives rise to negative values which can reach relatively considerable magnitudes i. e. — 55 millivolts.

The ionic concentration in the root diffusion paths and the concentration ratio it has with the KCl concentration found on both sides of the root has an important effect on the potential measured. A quantitative consideration of this problem depends on development in the theory of potentials of membranes that have two or more zones that differ in their electrochemical properties. However basing on experimental and theoretical evidence obtained with systems other than roots, (9, 13) we may mention that the potential in cell (1) should be expected to be positive when the concentration ratio (electrolyte in the root/electrolyte on both sides of the root) is greater than unity and negative if the ratio is less than unity. It may be recalled here that a negative sign for barley root potentials were obtained earlier when the KCl concentration in the cell was greater than 0.04 M. This means that, depending on the salt concentration in the root, the direction of salt movement in cell (1) can be from the root to the KCl solutions outside the root or vice versa. This movement would determine the sign of the measured potential, since the sign is related to the direction of the free energy change accompanying these movements of the KCl. When there is no KCl activity gradients between the root and the electrolyte in cell (1), no diffusion potential arises and the emf becomes zero in the cell. This takes place at 0.04 M KCl for the roots of barley.

In other words, if in cell (1), the activity of KCl inside the root diffusion paths is uniform and higher than that in the solutions present on its two sides, the solution/root-base junction at the left hand side of cell (1) will give rise to a negative diffusion potential. This is because the salt movement is from the right to the left across the junction VIZ. from a higher to a lower KCl concentration. At the right hand side of the cell, the root-tip/solution junction will give rise to a positive diffusion potential because the salt movement is from the left to the right across the junction. This positive potential is higher in magnitude than the negative potential produced at the solution/root-base junction, because the transport number of K at the tip is much higher than that at the root base and generally diffusion potentials are proportional to the transport numbers (7, 6). The net result is a positive potential in cell (1). In a similar way one can explain the negative potential obtained when the root contains a solution more dilute than that of the KCl solutions at the two ends of the root in the cell (1).

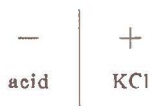
In this case, the junction at the root-base would be positive and that at the root-tip would be negative and relatively high. For the case when the KCl activities are equal in and outside the root, no potentials arise because no diffusion takes place at the two root-solution junctions.

Along the above mentioned basis the experimental results can find an explanation. Thus the pretreatment of the root with KCl solutions of relatively high concentrations for half an hour or more is expected to affect a rather complete replacement of the solution in the free space and the diffusion paths by KCl. This probably raises the pH and the electrolyte concentrations in the root and would lead to positive potentials in cell (1).

With pretreatments of roots in relatively lower KCl concentrations a partial replacement of the solution in the diffusion routes by KCl is produced, and the potentials measured can either be negative or positive depending on its resultant pH and ionic concentration.

The change in the sign of the root potential from negative to positive as reflected in the increasing with time in the percentage of roots exhibiting positive potentials, and the increase in the value of positive potentials with time during measurements as shown in Fig 1 is related to the gradual pH and salt increase in the root diffusion paths expected to accompany the loss of H ions and the entry of KCl.

Furthermore, the metabolic liberation of acids from the root and its diffusion from the root tip, produces a liquid junction, at the root-tip/solution boundary, of the type:



This junction gives rise to a positive potential of a magnitude that depends on the chemical composition of the boundary (12). Such diffusion of acid against KCl supplies the energy (diffusion potential) that helps to accelerate the entry of potassium in the root (3). This is, incidentally, a typical example of the so called biological pumps.

Obviously, the presence of such junction which contributes to a positive potential in the cell (1) cannot explain the existence of the negative potentials mentioned above.

Finally, the conclusion that emerges from this work, is that the sign and magnitude of the potential exhibited by the root as a membrane in concentration cells depends not only on the two KCl concentrations placed on each side of the root in cell (1), but also on the properties of the root. Some of these are the acid, ionic concentration and other characteristics of the solution found in the root diffusion paths. This factor of ionic concentration in the material used as a membrane usua-



lly do not present problems with artificial membranes, since they are usually conditioned to contain certain concentrations of KCl before attempting potential measurements (2).

Unfortunately, such absolute conditioning is obviously unachievable with living roots. However, growing the roots in a nutrient solution that contains relatively high KCl concentration will produce roots that contain relatively high internal concentration of KCl and would exhibit positive potentials in cell (1).

### *Acknowledgement*

This work is supported by the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

### SUMMARY

Roots of barley, wheat, tall wheatgrass, rye, vetch and cucumber are found to exhibit mainly positive root membrane potentials when placed in a concentration cell between two identical 0.001 M KCl solutions. Under the same conditions of measurement a small percentage of roots of these plants exhibit negative potentials. Furthermore, it is observed that the roots exhibiting negative signs may change and produce positive signs during the measurements. Also the magnitude of the observed positive potentials usually increases with time. Pretreatment of the roots for one half hour with KCl is found to be sufficient for excluding the possibility of encountering roots that give negative potentials in the fore mentioned concentration cell. These observations are explained in terms of the KCl activity inside the root and the ratio between the KCl activities inside and outside the root. When the KCl activity is higher in the root than that in the solutions placed outside it, the salt diffusion is from the root to the outside solutions and that results in producing a positive diffusion potential in the cell and vice versa for the production of a negative potential. When no KCl activity gradients exist between the root and the two solutions placed on its two ends in the electrochemical cell, the root potential vanishes.

Instituto de Edafología e Hidrología  
Universidad Nacional del Sur  
Bahía Blanca (Argentina)

### REFERENCES

- (1) BRIGGS, G. E. and ROBERTSON, R. N. (1957). Apparent free space. Annual Review Plant Physiology, 8, 11-30.
- (2) DAWSON, D. G. and MEARES, P. (1970). Electric transport phenomena in a cation exchange membrane III. Membrane potentials. J. Colloid Interface Sci., 33, 117-123.
- (3) EL-NASHAR, M., HELMY, A. K., HASSAN, M. N. and ELGABALY, N. M. (1966). Effect of divalent and other ions on K uptake by barley roots. Plant and Soil., 25, 290-296.



- (4) HELMY, A. K., TSCHAPEK, M., PEINEMANN, N. and FERREIRO, E. A. (1971). Electric potentials of plant roots. *Plant and Soil*, 35, 549-554.
- (5) — —, FERREIRO, E. A. and PEINEMANN, N. (1972). Some studies on root membrane potentials. *J. Exp. Bot.*, 23, 571-576.
- (6) — —, PEINEMANN, N. and FERREIRO, E. A. (1973). Effect of root position on measured root membrane potentials. *Ibid.*, 24, 29-32.
- (7) — —, FERREIRO, E. A. and PEINEMANN, N. (1973). Membrane potential of the root base segment. *Ibid.*, 24, 810-815.
- (8) — —, PEINEMANN, N. and FERREIRO, E. A. (1974). Effect of pH on root membrane potentials. *Plant and Soil*, 40, 253-259.
- (9) — —, NATALE, I. M. and GRAZÁN, A. M. Electric potentials of bi-zonal clay film membrane. *Kolloid Zeitschrift U. Z. Polymere*. (Accepted for publication.)
- (10) HOAGLAND, D. R. and BROYER, T. C. (1940). Hydrogen ion effects and the accumulation of salt by barley roots as influenced by metabolism. *Amer. J. Botany*, 27, 173-185.
- (11) — — and ARNON, D. J. (1950). The water culture method for growing plants without soil. *California Agr. Expt. Station. Circular* 347, 1-32.
- (12) MACINNES, D. A. (1961). *The principles of electrochemistry*. Dover Publ., p. 236.
- (13) PEINEMANN, N. and HELMY, A. K. (1973). Donnan emf measurements in suspensions. *Soil Sci.*, 115, 331-335.
- (14) PITMAN, M. G. (1970). Active H efflux from cells of low salt barley roots during salt accumulation. *Plant Physiol. Lancaster*, 45, 787-790.

Recibido para publicación: 4-III-75

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS RELACIONES Q/I DE POTASIO EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO DE LA ISLA DE TENERIFE

III

POT

J. HERNANDEZ MORENO, E. FERNANDEZ CALDAS y A. BORGES PEREZ

## SUMMARY

### COMPARATIVE STUDY OF POTASSIUM Q/I RELATIONSHIPS IN DIFFERENT SOIL TYPES OF TENERIFE ISLAND. III

Potassium Q/I relationships of three soils groups: Andosols, Vertisols and Brown Earths of Tenerife Island are compared.

The highest values of both PBCK y PBCKE correspond to the Vertisol group and the lowest to the Andosol group.

The superimposed Q/I curves for all profiles show an agroupment according to the soil type in the more evolutionated horizons.

## INTRODUCCIÓN

Las relaciones Q/I de potasio han sido aplicadas principalmente a la fertilización y nutrición potásica de las plantas. Sin embargo, algunos investigadores han señalado que las relaciones Q/I de potasio pueden dar información sobre la clasificación y génesis del suelo. En este sentido, Moss (4) ha encontrado que suelos clasificados similarmente presentan valores similares para las constantes de cambio  $K e / (Ca + Mg) e / ARX_0$ . Recientemente, Niederbudde (5) ha demostrado, utilizando parámetros Q/I de potasio, que minerales de 18 Å se han transformado en illita por intercambio de potasio, durante el período holoceno.

No obstante, los estudios realizados en este sentido son escasos y el significado de algunos parámetros Q/I no está totalmente claro.

Hemos aprovechado la variabilidad de suelos existentes en la isla de Tenerife, desarrollados sobre material volcánico de características similares, para relacionar los parámetros Q/I de K con los distintos

tipos de suelo. En trabajos anteriores (2, 3) hemos descrito las relaciones Q/I de potasio correspondientes a andosoles, vertisoles y suelos pardos de la isla de Tenerife. En el presente trabajo hacemos un estudio comparativo de los resultados obtenidos en los tres tipos de suelo.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Han sido utilizados tres andosoles, tres vertisoles y dos suelos pardos de la isla de Tenerife. Las características de estos suelos fueron descritas en trabajos anteriores (2, 3).

#### *Relaciones Q/I*

Se equilibran muestras de 2 gr. de suelo seco al aire y no triturado con 40 ml. de soluciones 0,005 M en  $\text{CaCl}_2$  que contienen cantidades crecientes de KCl, de tal manera que las concentraciones resultantes en potasio varíen de cero a tres milimoles por litro.

Las suspensiones se agitan durante media hora. Se centrifuga y se filtra. En el filtrado se analiza K por fotometría de llama y Ca y Mg por absorción atómica.

Para cada suspensión, la cantidad de potasio ganada o perdida por el suelo ( $\pm \Delta K$  meq. por 100 gr. de suelo) se calcula de la diferencia de concentraciones de la solución inicial y final. La razón de actividades ARK, correspondiente a cada valor de  $\Delta K$ , se calcula a partir de la composición de la solución equilibrada. Los coeficientes de actividad correspondientes se calculan según las tablas de Beckett (1).

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas Q/I obtenidas para estos suelos fueron descritas en trabajos anteriores (2, 3). En la tabla I se presentan los parámetros deducidos de estas curvas.

Al comparar las curvas correspondientes a los tres grupos de suelos, hemos observado agrupaciones de las mismas según el tipo de suelo, en los horizontes más evolucionados.

En la gráfica 1 podemos observar cómo los horizontes A presentan la agrupación citada. Los andosoles presentan las curvas de más baja pendiente e intensidades más elevadas. En el otro extremo, las curvas de los vertisoles tienen las pendientes más elevadas e intensidades más bajas con la excepción del perfil Tenosa, que pertenece a un suelo rico en potasio. El grupo de los suelos pardos se sitúa entre los otros dos:

TABLA I

Horizontes	ARK <sub>0</sub>	PBCK	PBCKE
<i>Perfil Chinyero (Vitrandept)</i>			
A	7,6	65	67
(B)	11,3	64	63
(B)/C	12,0	36	36
<i>Perfil Aguamansa (Dystrandept)</i>			
A	8,1	52	60
(B) <sub>1</sub>	7,1	46	54
(B) <sub>2</sub>	0,8	46	73
(B)/C	0,1	31	170
<i>Perfil Las Lajas (Intergrado andosol-tierra pardo oligotrófica)</i>			
A <sub>11</sub>	6,9	65	71
A <sub>12</sub>	2,6	42	97
(B)	1,1	27	138
B/Bt	1,6	39	400
Bt/C	0,3	156	725
(B)/C	0,1	60	437
<i>Perfil Tenasa (Vertisol)</i>			
A <sub>1</sub>	16,8	70	116
B <sub>11</sub>	10,9	109	145
B <sub>2</sub>	21,7	95	95
<i>Perfil Barranco Hondo (Vertisol)</i>			
A <sub>p</sub>	3,1	156	200
(B)	0,5	250	445
(B)/C	0,3	235	705
<i>Perfil Bajamar (Vertisol)</i>			
A	1,1	170	468
(B)	0,9	223	513
C/Ca	1,8	149	293



T A B L A I (continuación)

Horizontes	ARK <sub>0</sub> · 10 <sup>3</sup>	PBCK	PBCKE
<i>Perfil Garimba (Suelo pardo)</i>			
A <sub>2</sub>	2,1	77	158
B <sub>1</sub>	0,3	62	316
B <sub>2</sub>	0,3	94	1.470
B <sub>3</sub>	0,1	110	620
(B)/C	0,2	211	902
<i>Perfil Salto del Pino (Suelo pardo)</i>			
A <sub>p</sub>	34,4	44	44
A <sub>12</sub>	2,7	42	111
B <sub>1</sub>	4,1	71	300
B <sub>2t</sub>	2,5	87	351

ARK<sub>0</sub>: (mol/l.)<sup>1/2</sup>; PBCK y PBCKE: (meq/100 gr.) por (mol/l.)<sup>1/2</sup>.

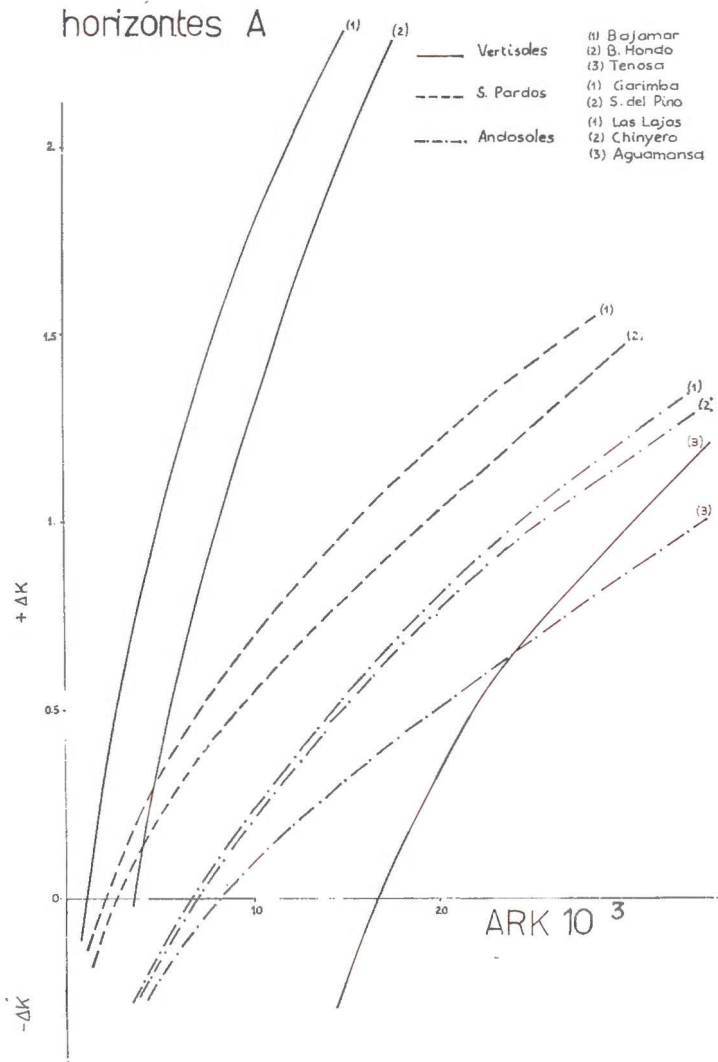
grupos con una pendiente intermedia e intensidades semejantes a las de los vertisuelos.

En la gráfica 2 los horizontes B dan lugar a una agrupación semejante a la obtenida con los horizontes A, aunque en este caso los valores de ARK<sub>0</sub> están desplazados hacia regiones de intensidades más bajas. El horizonte correspondiente al perfil Tenosa presenta, como el horizonte A, un valor elevado de ARK<sub>0</sub>, aunque su pendiente no puede confundirse con la de los andosoles.

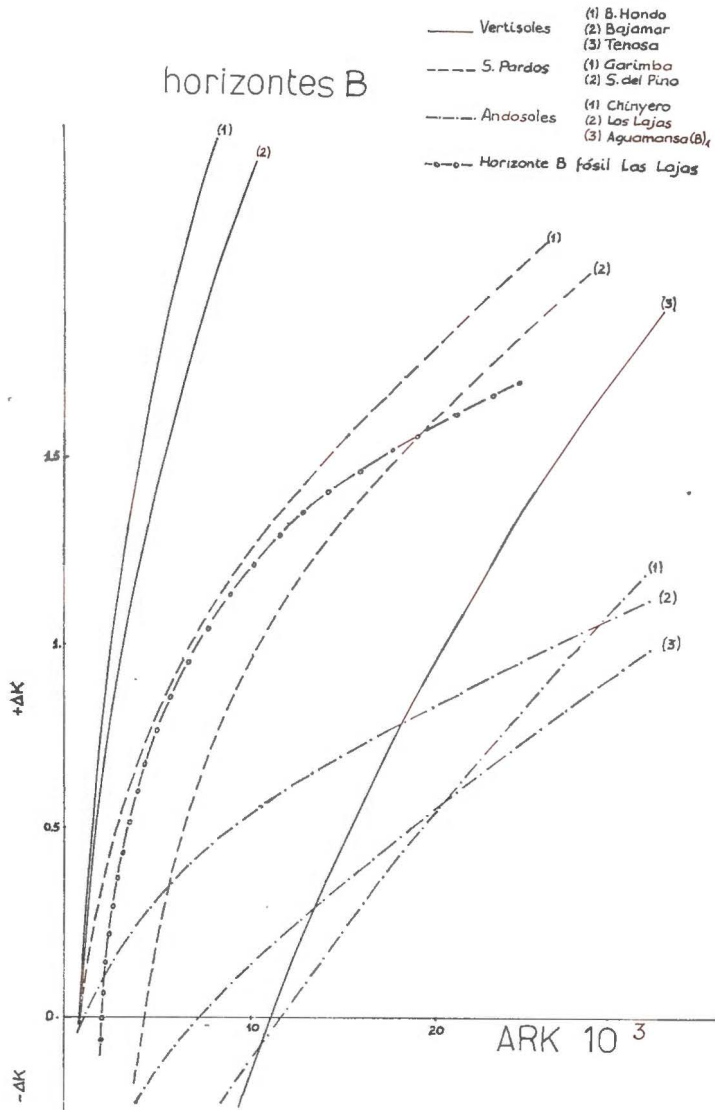
Es de destacar que la curva correspondiente al B fósil del intergrado andosol-tierra parda-oligotrófica se agrupa junto con las curvas correspondientes a los horizontes B de los suelos pardos. Esta observación está de acuerdo con la clasificación establecida para el intergrado (6), en la que se indica que los horizontes fósiles pueden corresponder a suelos pardos o fersialíticos desaturados.

De estas consideraciones se desprende el interés de las isotermas de cambio Q/I de potasio en su posible utilización como diagnóstico complementario en la clasificación de suelos.

De los parámetros deducidos de las curvas Q/I ninguno refleja por sí solo la agrupación observada gráficamente. En este sentido parece



Gráfica 1



Gráfica 2

significativa la consideración conjunta del PBCK y PBCKE. En general los andosoles presentan los valores más bajos en los dos parámetros, los vertisuelos los más altos y los suelos pardos valores de PBCKE altos y valores intermedios de PBCK.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) BECKETT, P. H. T. (1965). Activity coefficients for studies on soil potassium. *Agrochimica*, IX, núm 2, 150.
- (2) FERNÁNDEZ CALDAS, E., BORGES PÉREZ, A. y HERNÁNDEZ MORENO, J. (1974). Relaciones Q/I de potasio en andosoles de la isla de Tenerife. I. *Anal. Edaf. y Agrob.*, XXXIV, 1021-1030.
- (3) FERNÁNDEZ CALDAS, E., HERNÁNDEZ MORENO, J. y BORGES PÉREZ, A. (1974). Relaciones Q/I de potasio en vertisoles y suelos pardos de la isla de Tenerife. II. *Anal. Edaf. y Agrob.*, XXXIV, 1031-1041.
- (4) MOSS, P. (1967). Independence of soil Quantity-Intensity relationships to changes in exchangeable potassium: similar potassium exchange constants for soils within a soil type. *Soil Sci.*, 103, 196.
- (5) NIEDERBUDE, E. A. (1972). Changes in K/Ca Exchange properties of clay in Loess derived soils in soil formation. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Colloquium of the International potash Institute*, 43.
- (6) TEJEDOR SALGUERO, M. L. y FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1974). Andosoles canarios: intergrado andosol-tierra parda oligotrófica. Características morfológicas y químicas. *Anal. Edaf. y Agrob.*, XXXIV, 237-252.

Recibido para publicación: 4-III-75





# SUELOS DE LA ZONA HUMEDA ESPAÑOLA

## VIII. SUELOS CON FRAGIPAN

### 2. MINERALOGÍA

por

F. MACIAS VAZQUEZ \*, M. C. VILLAR CELORIO \*\*  
y F. GUITIAN OJEA \*

#### SUMMARY

#### SOILS OF THE SPANISH HUMID ZONE. VIII. SOILS WITH FRAGIPAN. 2. MINERALOGY

The mineralogy of soils with horizons of fragipan in Galicia, is highly influenced by the original materials and the process of sedimentation that they have undergone. The weathering during this stage have been very intense, as would be expected of a tropical type climate that originated the formation of kaolinite and the extraordinary abundance of oxi-hydroxides and alterites in the profiles.

It is found at the present time horizons of fragipan undergo practically no change, this being restricted to the surface horizons, where there have been observed the transformation of Hematite in Goethite and the existence of processes of Illite degradation not observed in deep horizons. This effect is attributed to the low porosity of the horizons of fragipan and to the existence of drainage limited to the grey tongues.

#### INTRODUCCIÓN

Los estudios realizados sobre la mineralogía de suelos que presentan horizontes de fragipan no han permitido relacionar este carácter edáfico con la existencia y formación de determinados minerales. Como normas de carácter general se ha señalado que sufren en sus horizontes endurecidos un lavado y alteración menor que otros suelos desarrollados sobre el mismo material (7), lo que se atribuye a la dificultad que oponen a la penetración de las raíces y al drenaje; sin embargo, no se

---

\* Facultad de Farmacia, Santiago.

\*\* Instituto Investigaciones Agrobiológicas del C. S. I. C., Santiago.

ha encontrado ninguna relación entre la presencia del fragipan y la mineralogía de las fracciones arena y limo (4).

Más intensamente se ha estudiado la mineralogía de las arcillas, encontrándose principalmente: caolinita, vermiculita, illita, clorita, montmorillonita y a veces minerales amorfos. Grossman (7) señala que la mineralogía de las arcillas es, en estos horizontes, comparable a la de los horizontes en similar posición en otro tipo de suelos, pero presentando una menor alteración de illita a vermiculita.

En los perfiles con horizontes de fragipan de la región gallega descritos en un trabajo anterior (8) se ha estudiado mineralógicamente la fracción gruesa y la fracción arcilla. Se ha comprobado mediante difracción de rayos X que la mineralogía de los limos es intermedia entre la de la fracción 100-50  $\mu$  y la inferior a 2  $\mu$ , por lo que, junto con la dificultad que supone su estudio, no se ha realizado su estimación cuantitativa.

#### MINERALOGÍA DE LAS ARENAS

En la mineralogía de las arenas se ha estudiado la fracción comprendida entre 400-50  $\mu$ , mediante el microscopio petrográfico, separando las fracciones 400-200, 200-100 y 100-50  $\mu$ , obteniendo de cada una de ellas (mediante bromoformo de peso específico 2,9) los minerales densos y ligeros que se estudiaron separadamente.

En las figuras (1a, 1b, 1c, 2a, 2b y 3) quedan representados los valores de los porcentajes de las fracciones densa y ligera a lo largo de cada perfil.

Teniendo en cuenta la escala de representatividad de algunos de los minerales hallados, los hemos agrupado de la forma siguiente:

Grupo	Minerales en orden decreciente de porcentajes
Resistentes	Turmalina, circón, granate, rutilo, anatasa y broquita.
Metamórficos	Distena, andalucita, estauroлита, silimanita y fibrolita.
Oxi-hidróxidos de hierro	Hematites, limonita y magnetita.
Alteritas	Minerales fuertemente alterados.
Carbonatos	Calcita y carbonatos alterados.
Otros minerales	Epidota, anfíboles y piroxenos.
Feldespatos	Plagioclasas y feldespato potásico.
Micas	Moscovita, materia clorítica, biotita y clorita.

Se hace un breve resumen de las características y comportamiento de los minerales de las arenas de los perfiles siguientes:

*Núm. 1237* (fig. 1a)

Destaca el alto contenido de oxi-hidróxidos de hierro predominando la hematita, que da el color rojo oscuro característico de estos suelos. En la fracción ligera aparecen alteritas, denotando profunda alteración que también se manifiesta en la alteración de las plagioclasas. En el comienzo del fragipan son más abundantes las plagioclasas, así como la ilmenita. Los minerales resistentes son muy escasos en todo el perfil; y en las zonas grises aparece distena.

*Núm. 1293* (fig. 1b)

La cuarcita y el cuarzo alcanzan porcentajes superiores al 90 por 100 en la fracción ligera. En la zona roja del fragipan hay mayor cantidad de oxi-hidróxidos de hierro que en la gris, en donde se encuentran mayores porcentajes de alteritas, minerales metamórficos y resistentes.

*Núm. 1296* (fig. 1c)

Se aprecia disminución de feldespatos y micas en el comienzo del fragipan, siendo dichos minerales más abundantes en los horizontes A y B. El cuarzo tiende a aumentar en profundidad.

Los oxi-hidróxidos de hierro son más abundantes en la zona roja que en la gris, en donde se encuentran mayores cantidades de alteritas, minerales metamórficos y resistentes, al igual que hemos visto en el perfil anterior.

*Núm. 1297* (fig. 3)

Lo más notable son los carbonatos alterados procedentes de zonas cercanas donde se encuentran filones de caliza.

Estos carbonatos se concentran preferentemente en la línea de piedras y comienzo del fragipan, y van decreciendo en profundidad, en donde aumenta el cuarzo y la cuarcita, así como los minerales resistentes, ilmenita y metamórficos. También se nota en la línea de piedras una acumulación de oxi-hidróxidos de hierro.

*Núm. 1298* (fig. 2a)

La cuarcita y el cuarzo alcanzan valores superiores al 80 por 100 (similares al perfil núm. 1293) en la fracción ligera, disminuyendo lige-



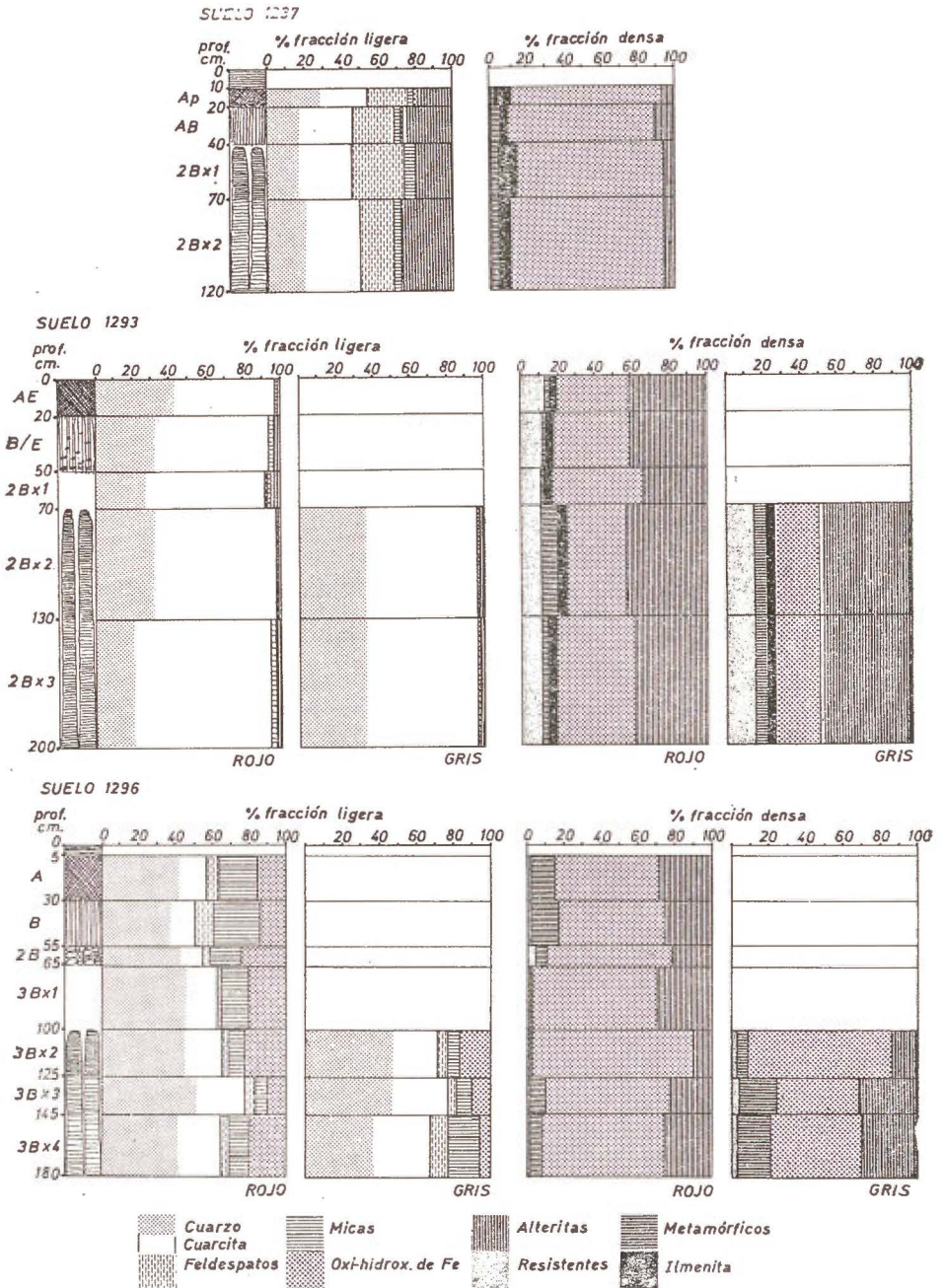


Fig. 1.—Variación de la composición mineralógica: 1a) Perfil 1287; 1b) Perfil 1293; 1c) Perfil 1296.

ramente en profundidad en favor de los feldespatos y materia clorítica. En la fracción densa hay un acusado predominio de alteritas, siendo escasos los oxi-hidróxidos de hierro con respecto a los otros perfiles estudiados, pero es en la zona de fragipan en donde hay mayor cantidad.

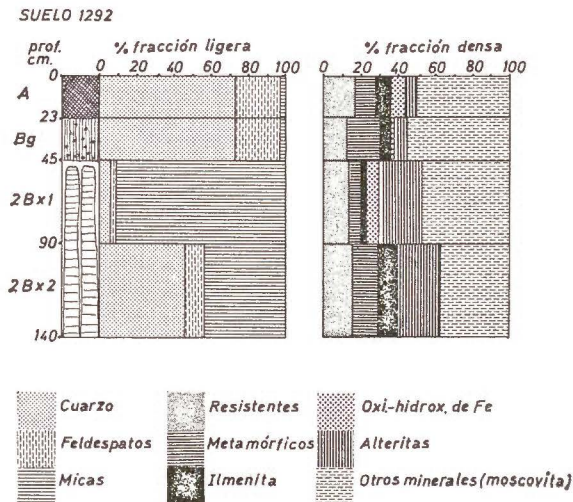
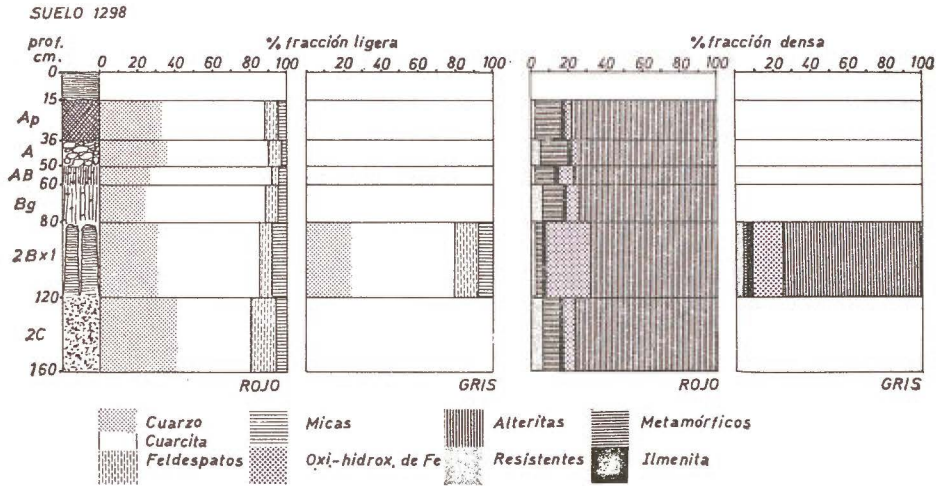


Fig. 2.—Variación de la composición mineralógica: 2a) Perfil 1298; 2b) Perfil 1292.

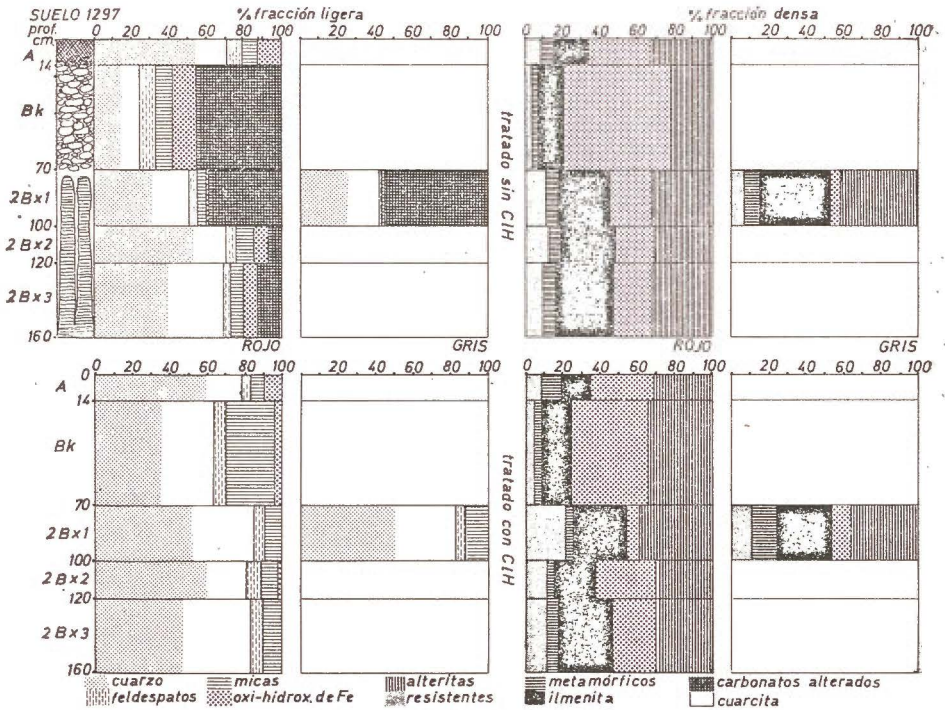


Fig. 3.—Variación de la composición mineralógica del perfil 1297: a) Sin destruir los carbonatos; b) Tratado con CIH.

Núm. 1292 (fig. 2b)

Debido a la ausencia de elementos gruesos en los dos últimos horizontes, no se ha podido realizar el análisis de la fracción 400-200  $\mu$ , siendo el suelo que más difiere de los otros estudiados. Destaca la abundante presencia de moscovita en las dos fracciones y el bajo porcentaje de oxi-hidróxidos de hierro. Se encuentran los minerales resistentes a lo largo de todo el perfil, aproximadamente en un 15 por 100, siendo la turmalina el más común. Los minerales metamórficos que aparecen son: la silimanita y fibrolita (no encontrándose distena). Son abundantes los feldespatos potásicos y el cuarzo solo se presenta en granos aislados. La discontinuidad más acusada aparece en el horizonte 2Bx1 por aumento de moscovita, y la disminución del cuarzo.

El resumen de las características comunes para estos suelos es el siguiente:



a) En la zona roja del fragipan hay acumulación de oxi-hidróxidos de hierro, predominando la hematita, siendo en los perfiles 1296 y 1237 donde alcanza mayores porcentajes; esto se confirma también en el análisis de arcillas.

b) En las zonas grises hay un ligero incremento de minerales resistentes, así como de minerales metamórficos con respecto a la zona roja, especialmente aparece distena.

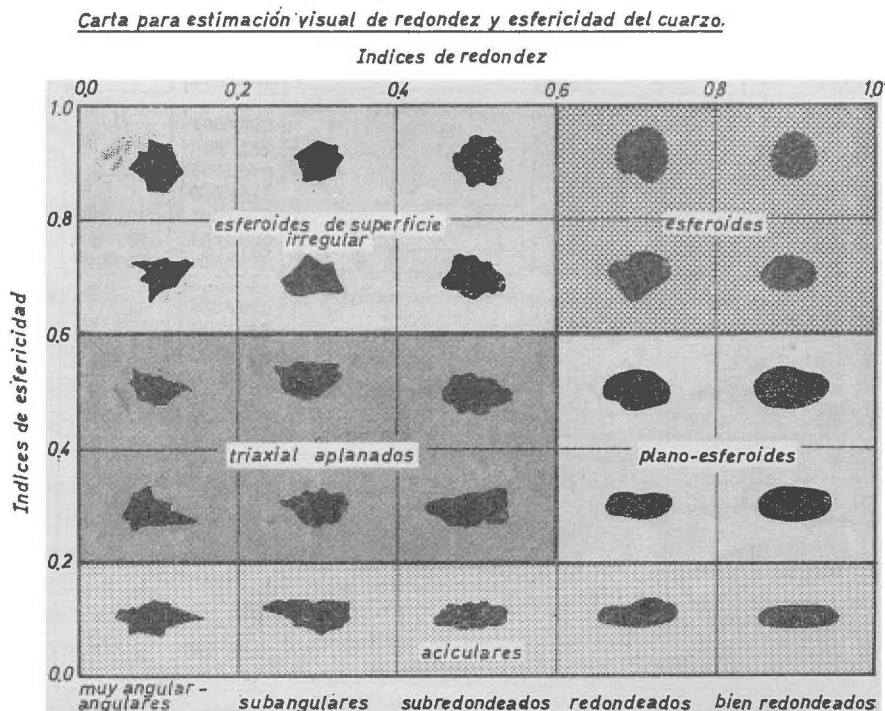


Fig. 4.—Carta de estimación visual para redondez y esfericidad.

c) La tónica general de los minerales metamórficos es la de disminuir su porcentaje en el comienzo del fragipan para después incrementarse ligeramente, aunque en algunos de los suelos estudiados su porcentaje es más o menos constante a lo largo del perfil. Tanto el suelo 1237 como el 1296 tienen distena en todos sus horizontes. En el 1297 y 1293, la distena sólo se encuentra en los horizontes superficiales, mientras que en la zona de fragipan en el núm. 1 hay andalucita y en el 2 estauroлита. En el 1298 es la andalucita el más abundante, en el 1292 se encuentra silimanita.



d) El cuarzo aparece en dos formas; en granos aislados y en cuarcita altamente metamorfozada, con fuerte extinción en mosaico y de forma subredondeada. (Se exceptúa la presencia de cuarcita únicamente en el perfil 1292.)

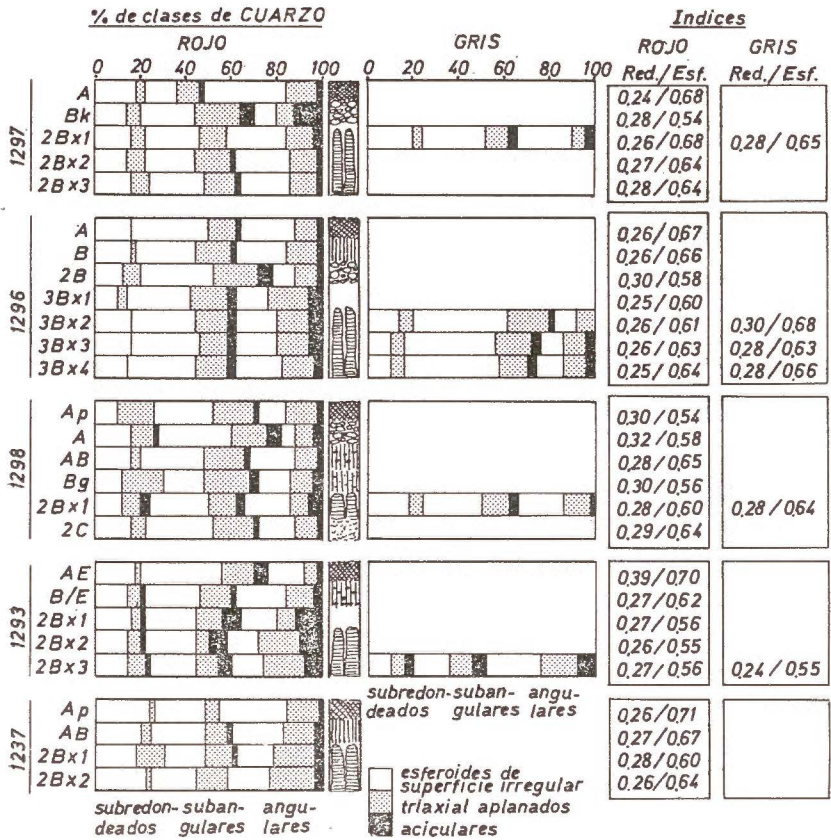


Fig. 5.—Variación de la redondez y esfericidad.

*Estudio morfoscópico y morfométrico del cuarzo*

Realizamos dicho estudio en la fracción de 400-200  $\mu$  representando en la fig. (5) los porcentajes de cada clase de cuarzo a lo largo de cada perfil. Hemos empleado para ello el microscopio petrográfico con pantalla de proyección para medir los ejes de los granos de cuarzo, siguiendo la carta para la estimación visual de redondez, propuesta por Krumbeyn y Sloss (11) y las medidas e índices de esfericidad de Krumbeyn y Brewer (1 y 10) (fig. 4).

En cuanto a la redondez se encuentran cuarzos:

*Subredondeados*.—(Índice de redondez medio = 0,5). Cuyo contorno de curvas suaves presenta abundantes salientes convexos.

*Angulares y muy angulares*.—(Índice de redondez bajo = 0,2). De fractura concoidea, con aristas y bordes cortantes y picos agudos.

Referente a la esfericidad, hemos encontrado cuarzos:

*Esferoides de superficie irregular*.—(Alto índice de esfericidad). Con los tres ejes de longitud similar.

*Triaxial aplanados*.—(Índice de esfericidad medio). Con uno de los ejes más corto que los otros dos.

*Aciculares*.—(Índice de esfericidad bajo). Uno de los ejes tiene mayor longitud que los otros dos.

#### *Resumen de las características del cuarzo de estos perfiles*

Para explicar el comportamiento de las diferentes clases de cuarzo, tendremos en cuenta que el perfil 1293 (desarrollado a partir de sedimentos terciarios con un zócalo de cuarcitas) y el 1298 (sobre sedimentos gruesos) presentan a lo largo de todo el perfil un acusado predominio en el porcentaje de cuarcita sobre el de cuarzo. El perfil 1237, a pesar de estar sobre sedimentos arcillosos terciarios, presenta una considerable cantidad de cuarcita. En los otros tres perfiles, sobre sedimentos arcillosos, aunque también contienen cuarcita, es el cuarzo el que predomina. Los menores porcentajes de cuarcita corresponden a la línea de piedras y a los horizontes superiores, los máximos en los horizontes de fragipan, aumentando en profundidad especialmente en los perfiles de Puentes y Monforte (1293 y 1298).

*En los horizontes superiores* abunda el cuarzo angular a muy angular en los suelos sobre sedimentos finos, en contraposición a los suelos de Monforte y Puentes (1298 y 1293), en los que predominan los granos subangulares. En cuanto a la esfericidad, por regla general son esferoides de superficie irregular en todos ellos.

*En la línea de piedras* hay mayores porcentajes de granos subangulares que en los horizontes subyacentes de fragipan, marcando juntamente con una mayor proporción de granos aciculares la discontinuidad en esta zona del perfil.

*En los horizontes de fragipan* existen proporciones similares de granos subredondeados, subangulares y angulares. Sin embargo, en las zonas grises se observa un predominio de subangulares en todos los

suelos, menos en el de Puentes (1293), en el que abundan los angulares. Referente a la esfericidad, los porcentajes mayores los alcanzan los esferoides de superficie irregular, aunque es en esta zona del perfil donde se acumulan la mayor cantidad de granos aciculares.

*En los horizontes de contacto con el sedimento base abunda el cuarzo subangular, esferoide de superficie irregular.*

A continuación se exponen los índices de redondez y esfericidad medios del cuarzo en los cinco suelos estudiados:

Localidad	Puentes	Guntín	Portomarín	Bóveda	Monforte
Núm. perfil ... ..	1293	1296	1237	1297	1298
Índice de redondez ... ..	0,28	0,27	0,27	0,27	0,29
Índice de esfericidad ... ..	0,59	0,64	0,66	0,64	0,60

Los índices de redondez máxima se encuentran en los horizontes de líneas de piedras y de lavado (tanto en AE, como en las lenguas grises del fragipan). Los índices mínimos aparecen en los horizontes adyacentes al sedimento base. Los índices de esfericidad máximos corresponden a los horizontes superiores de los perfiles y los mínimos a los de línea de piedras.

#### MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS

Para el estudio de la fracción arcilla se ha realizado la extracción por el método de McKenzie, realizando espectros I. R. — 120, microfotografías electrónicas (\*) y diagramas de difracción de rayos X utilizando un aparato Philips, modelo PW 1010/30, provisto de registrador gráfico PW 1051/31 en las siguientes condiciones experimentales:

Radiación K $\alpha$  del Cu; Filtro de Ni; 40 Kv; 20 mA; Col. div. 1; Col. rec. 0,1; Col. dif. 1; Vel. goniómetro 2.º/mn.; Factor escala 4; Constante de tiempo 4; Tensión detector 1.500 V.

Las técnicas usadas han sido las de polvo cristalino y agregados orientados en muestras al estado natural, desferrificadas y saturadas con Mg y K; en casos necesarios se solvataron con etilenglicol y se calentaron a 500° C. (3).

Además de la determinación cualitativa se ha realizado una estima-

(\*) Las microfotografías electrónicas han sido realizadas por el Dr. J. Galván en el Instituto de Edafología del C. S. I. C. de Madrid.

ción semicuantitativa basada en la intensidad relativa de las distintas líneas de difracción. Los resultados se expresan de acuerdo con la siguiente notación:

Muy abundante ... ..	MA	> 50 % del total de arcilla
Abundante ... ..	A	20-50 % del total de arcilla
Frecuente ... ..	F	10-20 % del total de arcilla
Ocasional ... ..	O	3-10 % del total de arcilla
Trazas ... ..	T	< 3 % del total de arcilla

En la tabla I se resumen los resultados de la mineralogía de la fracción arcilla.

TABLA I

*Mineralogía de la fracción arcilla*

Horizontes	M	Cl	I	K	Fl.	G	H
<i>Perfil núm. 1293</i>							
AE ... ..	—	T	F	MA	O	O	—
B/E ... ..	—	—	A	MA	O	O	—
2B × <sub>1</sub> ... ..	—	—	A	MA	O	—	O
2B × <sub>2</sub> (r) ... ..	—	—	A	MA	O	—	O
2B × 2-3 (g) ... ..	—	—	A	MA	O	—	—
2B × <sub>3</sub> (r) ... ..	—	—	A	MA	O	—	O
<i>Perfil núm. 1296</i>							
A ... ..	—	T	A	MA	F	O	—
B ... ..	—	—	A	MA	F	O	—
2E ... ..	—	—	A	MA	F	—	O
3B × <sub>1</sub> ... ..	—	—	A	MA	F	—	O
3B × <sub>2</sub> (r) ... ..	—	—	A	MA	F	—	O
3B × <sub>2</sub> (g) ... ..	—	—	A	MA	F	—	O
3B × <sub>3</sub> (r) ... ..	—	—	A	MA	F	—	O
3B × <sub>3</sub> (g) ... ..	—	—	A	MA	F	—	—
3B × <sub>4</sub> (r) ... ..	—	—	A	MA	F	—	O
3B × <sub>4</sub> (g) ... ..	—	—	A	MA	F	—	—
<i>Perfil núm. 1237</i>							
Ap ... ..	—	—	F	MA	O	—	O
AB ... ..	—	—	F	MA	O	—	F
2B × <sub>1</sub> (r) ... ..	—	—	O	MA	A	—	F
2B × <sub>1</sub> (g) ... ..	—	—	O	MA	A	—	—
2B × <sub>2</sub> (r) ... ..	—	—	O	MA	A	—	F
2B × <sub>2</sub> (g) ... ..	—	—	O	MA	A	—	—



*Perfil núm. 1297*

A ... ..	A	T	A	MA	T	—	—
Bk ... ..	A	—	A	MA	—	—	—
2B × <sub>1</sub> (r) ... ..	F	—	A	MA	O	—	—
2B × <sub>1</sub> (g) ... ..	O	—	A	MA	T	—	—
2B × <sub>2</sub> (r) ... ..	O	—	A	MA	O	—	—
2B × <sub>3</sub> (r, g) ... ..	A	—	A	MA	O	—	—

*Perfil núm. 1298*

Ap ... ..	—	F	A	MA	F	—	—
A ... ..	—	O	A	MA	F	—	—
AB ... ..	—	—	A	MA	O	—	—
Bg ... ..	—	—	A	MA	O	—	—
2B × <sub>1</sub> (r) ... ..	—	—	A	MA	O	—	—
2B × <sub>1</sub> (g) ... ..	—	—	A	MA	O	—	—
2C ... ..	—	—	A	MA	O	—	—

*Perfil núm. 1292*

A ... ..	—	T	T	MA	—	—	—
Bg ... ..	—	T	T	MA	—	—	—
2E × <sub>1</sub> ... ..	—	—	T	MA	—	—	—
2B × <sub>2</sub> ... ..	—	—	T	MA	—	—	—
2C ... ..	—	—	T	MA	T	—	—

M: Minerales tipo montmorillonita; Cl: Clorita e interlaminares clorita-vermiculita; K: Minerales tipo caolín; Fl: Feldespatos; G: Goethita; H: Hematites.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como características comunes en la mineralogía de las arcillas de estos perfiles pueden destacarse las siguientes:

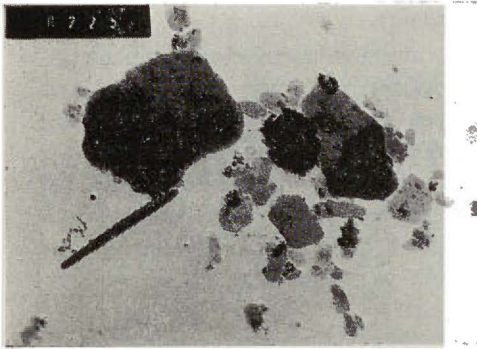
a) Predominio de las arcillas del tipo de la caolinita, con contenidos superiores al 50 por 100 en todos los perfiles y en todos los horizontes. Como única excepción, aparece la zona gris de la parte superior del horizonte de fragipan del perfil núm. 1297, donde la montmorillonita es el mineral dominante.

Dado que los sedimentos subyacentes a los perfiles tienen también un contenido elevado de caolinita, hemos considerado que la génesis de este mineral está relacionada con el sustrato sedimentario y las condiciones de su formación. En este sentido, la fase de sedimentación de los materiales originales en las cubetas debe corresponderse con un ambiente lacustre o pantanoso, en medio ácido y con intenso lavado de bases, todo ello bajo un clima de características más cálidas y húme-

das que las actuales. Estas condiciones son las que Grim (6) denomina «Condiciones lacustres de aguas agresivas», que son las más favorables para la formación de estos minerales.

Su génesis sería, por tanto, anterior a la edafización de los sedimentos que posteriormente dieron origen a los suelos estudiados.

No obstante, es posible la formación de caolinita también en el curso de las edafogénesis posteriores, ya que las condiciones climáticas, las características del drenaje y el pH existentes en el suelo pueden conducir a formación de este mineral.



Microfotografía 1. - Fracción arcilla del horizonte 38x4 rojo (perfil N.º 1296) x 41 000



Microfotografía 2. - Fracción arcilla del horizonte 38x4 gris (perfil N.º 1296) x 63 800

Las microfotografías electrónicas ponen de manifiesto la presencia de halloysita, reconocible por su hábito tubular, si bien en proporciones inferiores al caolín (microfotog. 1 y 2).

Es notorio que la caolinita es la arcilla más frecuente en los suelos de la región gallega, planteándose el problema de si su formación corresponde a los procesos actuales o bien debe considerarse como un material relicto de los procesos de alteración más intensos que han caracterizado al clima Terciario.

b) Además de los minerales del tipo de la caolinita se encuentran en cantidades importantes los minerales del tipo de la illita, con porcentajes entre el 10 y el 30 por 100, únicamente en el perfil núm. 1292 se encuentran en una proporción inferior.

Es importante destacar que no se ha encontrado vermiculita, lo que lleva a la conclusión de que los procesos de degradación de arcillas (Millot) no se encuentran favorecidos.

c) Los feldespatos se encuentran presentes con porcentajes entre el 3 y el 20 por 100, apreciándose en general una disminución en los horizontes superficiales,

d) Característica es la distribución de los compuestos de hierro (goethita y hematites). En primer lugar, únicamente aparecen en los suelos que tienen un % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre superior al 3 por 100 (números 1292, 1296 y 1237). En segundo lugar, los hematites se encuentran en los horizontes profundos y únicamente en las zonas rojas, mientras que la goethita aparece en los horizontes superficiales de esos mismos perfiles.

La presencia de goethita en los horizontes superficiales de los suelos que contienen hematites pueden atribuirse a la rehidratación de los óxidos de hierro, originada por la acción del clima actual más húmedo (15).

En las zonas grises y en los perfiles de menor contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, no aparece ninguno de estos minerales.

e) Minerales del tipo de las cloritas, interlaminares clorita-vermiculita y vermiculita-illita se encuentran únicamente como trazas en los horizontes superficiales. Este hecho parece demostrar que los procesos de alteración actuales se verifican en la superficie de los perfiles, mientras que en los horizontes de fragipan permanecen inalterables, probablemente como resultado de su pequeña porosidad que impide la penetración de las raíces y restringe el drenaje a través de dichos horizontes. Un resultado análogo ha sido señalado por Grossman (7) en suelos de fragipan en los Estados Unidos.

Apoya esta hipótesis la disminución de los feldespatos en superficie, la conversión de hematites-goethita y las técnicas micromorfológicas que han permitido observar en dichos horizontes la presencia de biotitas desflecadas, decoloradas y parcialmente cloritizadas.

f) Un caso particular en la mineralogía de estos suelos es la del perfil núm. 1297.

De la observación de los datos de la tabla I se deduce que existe una gran variación respecto al contenido en montmorillonita que se acumula preferentemente en la línea de piedras y en las zonas grises del horizonte de fragipan, mientras que su contenido decrece en los horizontes  $\text{B}\alpha_1$  y  $\text{B}\alpha_2$  de color rojo.

La caolinita es el mineral de más abundante en todo el perfil, excepto en las lenguas decoloradas, y alcanza su máximo en la zona roja del  $\text{B}\alpha_2$  donde llega a constituir el 70 por 100 de la fracción arcillosa.

En la figura 6 puede observarse la distinta composición de ambas zonas del horizonte  $\text{B}\alpha_1$ .

El estudio de la distribución de estos minerales nos demuestra la existencia de dos procesos de génesis claramente diferenciadas. El más antiguo está caracterizado por la presencia de caolinita, con lo que las condiciones de formación deben haber sido análogas a las reinantes en los demás perfiles, es decir, sedimentación en un medio de pH ácido y con intenso lavado de álcalis y alcalinotérricos. A esta fase pertenecen los horizontes  $\text{B}\alpha_1$ ,  $\text{B}\alpha_2$  y  $\text{B}\alpha_3$  de color rojo.



Fosilizando a estos horizontes, se encuentra un depósito con granulometría más gruesa y alto contenido en caliza que, al elevar el pH, favorece la disolución de la sílice, además la caliza se moviliza a través del perfil por las grietas grises, zona más permeable, recristalizando en los horizontes inferiores y disminuyendo su porosidad.

Estas condiciones, pH básico, riqueza en  $\text{Ca}^{++}$  y drenaje impedido, favorecen la formación de montmorillonita, especialmente en las zonas donde estas condiciones son más intensas, la línea de piedras y zonas grises (fig. 6).

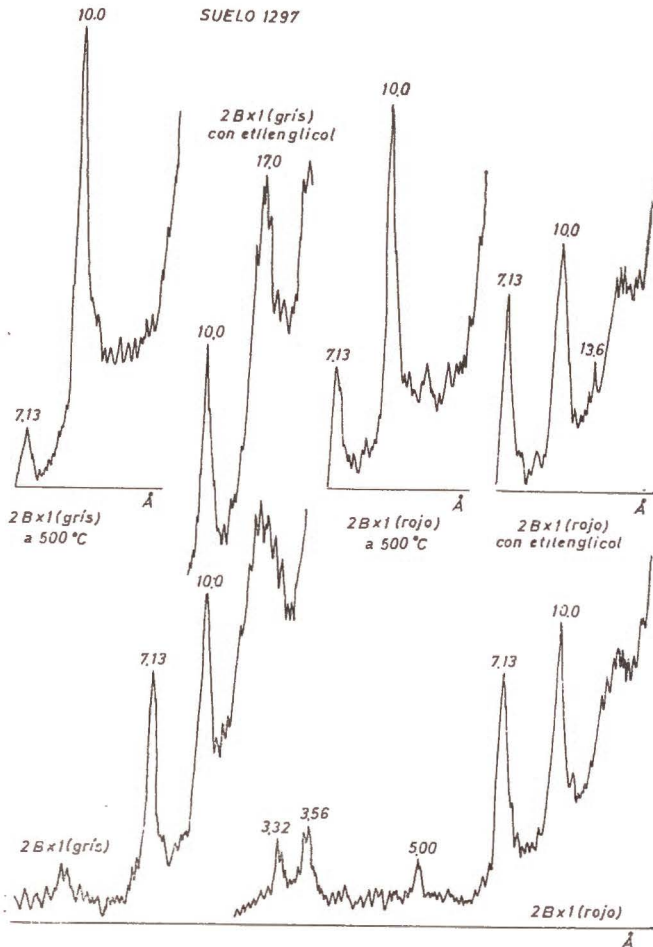


Fig. 6.—Mineralogía de la fracción arcilla del horizonte 2B x 1 (perfil 1297) zonas roja y gris. Agregados orientados sin tratamiento, saturadas en etilenglicol y calentadas a 500° C (dos horas).



## CONCLUSIONES

1. La mineralogía del perfil está íntimamente relacionada con el entorno geológico de las cubetas caracterizadas fundamentalmente por la presencia de rocas pelíticas desde precámbricas a paleozoicas, cuarcíticas, pizarras metamórficas y la serie de esquistos y carbonatos de Cándenas que afecta únicamente a los perfiles núm. 1237, 1297, 1296 y 1298. Un caso especial lo constituye el perfil núm. 1292, cuyo marco de cuenca está constituido por inyecciones magmáticas y migmatíticas y granito de dos micas en el que se encuentra abundante turmalina (9).

2. Otro factor que afecta a la mineralogía del perfil es el proceso sedimentario que han sufrido los materiales durante su acumulación bajo el clima cálido y húmedo del Terciario.

En estas condiciones se produciría una fuerte alteración, que explicaría la abundante presencia de alteritas y oxi-hidróxidos de hierro en la fracción arena. La composición mineralógica de las arcillas se caracteriza por su elevado contenido en caolinita, formada probablemente bajo las condiciones antes señaladas. Asimismo se explicaría la presencia de hematites, que proporciona el intenso color rojo a los horizontes profundos del suelo.

3. Es evidente la existencia de una discontinuidad mineralógica entre los horizontes de fragipan y los horizontes superficiales; en el estudio morfosκόpico del cuarzo no se han podido observar diferencias muy marcadas, probablemente debido al proceso sedimentario típico de estas cubetas terciarias, que enmascaran las posibles diferencias existentes en los procesos que ha sufrido el material original, mostrándose bastante uniforme a lo largo del perfil, lo que conduce a considerar estos suelos como policíclicos.

4. Actualmente los procesos de alteración se realizan únicamente en los horizontes superficiales, como puede verse en la transformación de hematites en goethita por la acción del clima actual.

5. Se comprueba la inexistencia de transformación illita-vermiculita en los horizontes de fragipan.

6. Las diferencias mineralógicas entre las zonas rojas y grises de la misma profundidad están relacionadas con la presencia de hematites y óxidos de hierro muy deshidratadas en las primeras y su sustitución en las grietas por minerales resistentes y metamórficos.

## RESUMEN

La mineralogía de los suelos con horizontes de fragipan de la región gallega está muy influenciada por los materiales originales, y por el proceso sedimentario que han sufrido.

Los procesos de alteración durante esta etapa han sido muy intensos, como corres-

ponde a la acción de un clima de características tropicales que dio origen a la formación de caolinita y a la extraordinaria abundancia de oxi-hidróxidos de Fe y alteritas presentes en los perfiles.

Se comprueba que, en la actualidad, los horizontes de fragipan prácticamente no sufren alteración, quedando ésta restringida a los horizontes superficiales donde se han observado la transformación de hematites en goethita y la existencia de procesos de degradación de la illita, no apreciados en los horizontes profundos. Se atribuye este efecto a la pequeña porosidad de los horizontes de fragipan y a la existencia de un drenaje restringido a las lenguas grises.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley. New York, 470.
- (2) CARVER, R. E. 1971. Procedures in Sedimentary Petrology. 137-143, John Wiley, New York.
- (3) COLADAS, V. 1973. Contribución al estudio de la alteración de los minerales de la arcilla en suelos ácidos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Santiago de Compostela.
- (4) DANIELS, R. B., NETTLETON, W. D., MC CRACKEN, R. J., GABLE, E. E. 1966. Morphology of Soils with fragipan in parts of Wilson County, North Caroline, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30, 376-380.
- (5) DOEGLAS, D. J., FAVEJEE, N. y VAN DER PLAS. 1965. On the identification of feldespars in soils. Meded. Landb. Hogesch. Wageningen, 65-9, 1-14.
- (6) GRIM, R. E. 1953. Clay Mineralogy. McGraw Hill Publishing Company. LTD. London.
- (7) GROSSMAN, R. B., STEPHEN, I., FEHRENBACHER, J. B., BEAVERS, A. H., PARKER, J. M. 1959 b. Fragipan Soils of Illinois. II. Mineralogy in reference to parent material uniformity of Hosmer Silt Loam. Soil. Sci. Am. Proc., 23, 70-73.
- (8) GUITIÁN, F., MACÍAS VÁZQUEZ, F. 1974. Suelos de la zona húmeda española. VIII. Suelos con fragipan. 1. Morfología y datos generales. Anal. Edaf. y Agrob., XXXV, 47-70.
- (9) IGME. 1971. Mapa Geológico de España. 1:200.000. Hojas núms. 1, 8 y 17, Madrid.
- (10) KRUMBEIN, W. C. 1941. Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. J. Sed. Pet., 11, 64-72.
- (11) KRUMBEIN, W. C. and SLOSS, L. L. 1955. Stratigraphy and Sedimentation. W. H. Freeman and Co., 660.
- (12) MILLOT, G. 1964. Geologie des Argiles. Altérations, Sédimentologie, Géochimie. Masson et Cie., París.
- (13) PÉREZ MATEOS, J. 1965. Análisis mineralógico de arenas. C. S. I. C. Patronato «Alonso de Herrera», Manuales de Ciencia Actual, núm. 1, Madrid.
- (14) PÉREZ MATEOS, J. 1968. La alteración de los minerales en sedimentos y Suelos. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.), 66, 219-234.
- (15) SCHWERTMANN, U. 1971. Transformation of hematite to goethite in Soils. Nature, London, 232 (5313), 624-625.

Recibido para publicación: 24-III-75



# DESARROLLO Y NUTRICION DE LA AVENA LUDUVICIANA DUR. COMO RESPUESTA A LA HUMEDAD DEL SUELO EN TIESTOS EXPERIMENTALES

por

V. HERNANDO FERNANDEZ y R. GONZALEZ PONCE

## SUMMARY

### DEVELOPMENT AND NUTRITION OF AVENA LUDOVICIANA DUR. IN EXPERIMENTAL POTS, AS A RESPONSE TO SOIL MOISTURE

A series of results on the development and nutrition of the *Avena ludoviciana* Dur., a species of wild oat which invades cereal crops, have been obtained by studying several treatments of different dosis of irrigation.

As the water supply increases the *Avena ludoviciana* has a larger development and a shorter life cycle and there is a greater absorption of P and K and smaller absorption of N, being variable for some other bioelements. Smaller concentrations of N and K and larger of Fe and B were found in grains. There was no difference for other bioelements.

When the *Avena ludoviciana* was submitted to successive water stress during its life cycle an increase in the number of tillers was obtained relative to the height of the plant. A higher total concentration and exportation of nutrients was observed in comparison to other treatments of soil moisture.

The highest water consumption for *Avena ludoviciana* was during the heading and stem extension periods.

## INTRODUCCIÓN

Una de las malas hierbas más dañinas en los cultivos de cereales son las denominadas «avenas locas» o «avenazos», pertenecientes a *Avena* spp.

La *Avena ludoviciana* Dur. es una de las especies más extendidas por el mundo y frecuente en España en los cultivos de trigo de regadío, por lo que era muy interesante conocer su respuesta vegetativa y nutricional ante diversos grados de humedad del suelo, obtenidos a través de diferentes dosis de riego, más aún no teniendo antecedentes al respecto.



De esta forma podíamos conocer su comportamiento ante este factor y compararle con el de los cereales cultivados, el cual ha sido estudiado por numerosos investigadores. Además, este conocimiento nos va a aportar información referente a la biología de esta especie, que será de gran utilidad para la realización de futuros experimentos de competencia entre cereales y dicha mala hierba.

#### PARTE EXPERIMENTAL

Para la clasificación sistemática de esta especie nos hemos apoyado en los estudios de Paunero (11), que la distingue de la *sterilis* por el tamaño de las espiguillas y glumas, así como número de flores por espiguilla.

Debido a la dificultad de germinación de la misma en las condiciones térmicas del invernadero, se tomaron plántulas del campo en estado de dos hojas y se transplantaron a los tiestos definitivos que se encontraban en invernadero, donde se realizó el experimento.

El suelo empleado fue el mismo sobre el que se desarrollaban estas plantas en el campo en competencia con el trigo. Se trata de un suelo aluvial de la vega del Tajo y del que se utilizó un kilogramo por tiesto.

Los valores analíticos de dicho suelo, previos al experimento, fueron los siguientes:

Arena %	...	33,26
Limo %	...	51,20
Arcilla (%)	...	12,68
Textura	...	Areno limosa
pF a Cc (%)	...	25,6
pF a Cm (%)	...	12,7
pH en H <sub>2</sub> O	...	7,80
pH en ClK	...	7,30
CO <sub>3</sub> (%)	...	21,1
Materia orgánica (%)	...	2,05
N (%)	...	0,110
C/N	...	10,8
Ca (mg/100 g. de suelo)	...	440
Mg	»	60,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	»	139,5
K <sub>2</sub> O	»	50

De ello se dedujo la fertilización necesaria a aplicar al experimento para que el factor nutricional no fuera limitante. Fue la siguiente: 60 mg. de nitrato amónico puro, 133 mg. de superfosfato de cal del 18 por 100 y 46 mg. de sulfato potásico puro, por tiesto.

También basándose en estos datos, se controló la humedad edáfica

a base de riegos, lo que suponía la variable a estudiar en el experimento. Los tratamientos fueron los siguientes:

H<sub>1</sub>. Se regaba cuando la humedad del suelo había descendido entre el 35 y 45 por 100 de la capacidad de campo, con un volumen de agua igual al de la pérdida por evapotranspiración, con lo que se obtenían otra vez las condiciones iniciales (capacidad de campo).

H<sub>2</sub>. Igual que el anterior, pero referido a 2/3 de la capacidad de campo.

H<sub>3</sub>. Igual que los anteriores, pero referido a 1/2 de la capacidad de campo.

H<sub>4</sub>. Se regaba cuando la planta denotaba signos de marchitez y el volumen de agua aportado equivalía al necesario para pasar la humedad del suelo hasta capacidad de campo.

H<sub>5</sub>. Se dieron riegos decrecientes en volumen desde el comienzo del experimento hasta finales del encañado (10 de mayo), pero debido a que por entonces la dosis era ya muy baja y temiendo producir marchitez en las plantas, se decidió dar a partir de entonces y hasta el 26 de mayo, riegos crecientes en volumen. El momento del riego fue cuando la pérdida de agua por evapotranspiración era del 35 a 45 por 100 de la humedad existente inmediatamente después del último riego.

Estos cuatro tratamientos se regaban así cada tres o cuatro días y siempre antes de que la planta denotara signos de marchitez.

El control de la humedad del suelo se ha realizado por pesada directa de los tiestos, que es un método suficientemente exacto en caso de escaso volumen de suelo, pues fue previamente contrastado con bloques de yeso, por el método Bouyoucos.

Se planteó pues un experimento según un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

## RESULTADOS OBTENIDOS

### *Consumo de agua y desarrollo*

A continuación se presenta una tabla con el número de riegos y volumen recibido por tratamiento.

TABLA I

*Dosis y número de riegos*

Tratamientos	N.º de riegos	Volumen total de riego (cc)	Volumen medio por riego (cc)
H <sub>1</sub>	20	3.110	155,5
H <sub>2</sub>	20	2.084	104,2
H <sub>3</sub>	22	1.654	75,2
H <sub>4</sub>	10	1.576	157,6
H <sub>5</sub>	22	1.838	83,5

Los tratamientos  $H_8$  y  $H_6$  necesitaron dos riegos más que los  $H_1$  y  $H_2$  para cubrir su ciclo biológico.

Se observa que cuanto más agua se agrega, con mayor rapidez es evapotranspirada, puesto que a pesar de que los tratamientos  $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$  se regaban con igual cadencia, el que más agua recibe antes la consume. Esto se debe a que al poseer mayor humedad el suelo, las moléculas de agua están menos retenidas por él y por tanto es más fácil la evaporación y, por otro lado, que a mayor dotación de riego hay mayor desarrollo vegetativo, como se observará posteriormente, y superior transpiración. Esto coincide con los trabajos de Lerch y Müller-Stoll en *Avena sativa* (7).

Se siguió el desarrollo de las plantas desde el momento del trasplante, el 22 de marzo, hasta el 26 de mayo, dividiéndose este período en cinco subperíodos, al final de cada uno de los cuales se medía la altura alcanzada por la planta, así como el agua consumida por evapotranspiración en cada tratamiento.

En la gráfica número 1 podemos ver que la evapotranspiración máxima diaria se produce en el subperíodo IV que coincide con el espigado, siguiéndole el subperíodo II, que es el de pleno encañado, ya que al ser el riego decreciente en volumen desde el trasplante, al llegar al espigado se aplicaban dotaciones muy bajas. Esto coincide con las apreciaciones de los períodos críticos de agua para cereales según diversos autores, así para Staple y Lehane (13) para el trigo es en el espigado y encañado; para Van der Paauw (10), en avenas, es el comienzo de la salida de la espiga, y para England (3) el período de máxima demanda de agua en avenas es durante la formación del grano. Por tanto, no parece diferenciarse esta especie de los cereales cultivados, en cuanto al momento crítico de necesidades hídricas.

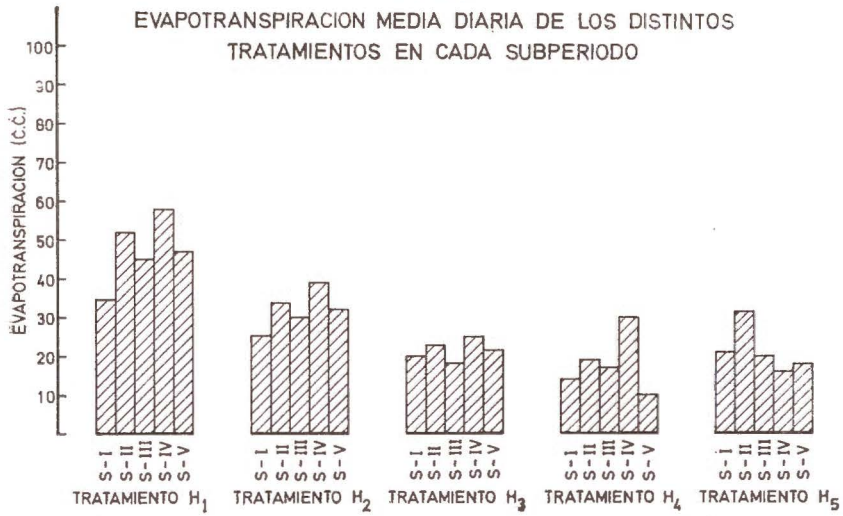
En la gráfica número 2 observamos que el incremento mayor de altura se realiza en pleno encañado (subperíodos I y II). Además hay correspondencia entre el volumen total de riego recibido por las plantas y la marcha de las curvas de crecimiento a diversos niveles. En caso del tratamiento  $H_4$ , recibe un volumen de riego similar al  $H_3$ , por lo que las curvas son casi coincidentes, aunque en el  $H_3$  el crecimiento es continuo y en el  $H_4$  es intermitente como consecuencia del tipo de riego a que se le somete.

En cuanto al tratamiento  $H_6$ , también la evolución de la curva responde a la dosis de riego suministrada; sin embargo, desde primeros a finales de mayo, el agua suministrada es ya insuficiente para atender a las necesidades de la planta durante la espigazón y crecimiento que aún acontece durante la formación de la espiga, por lo cual ambos se ven afectados.

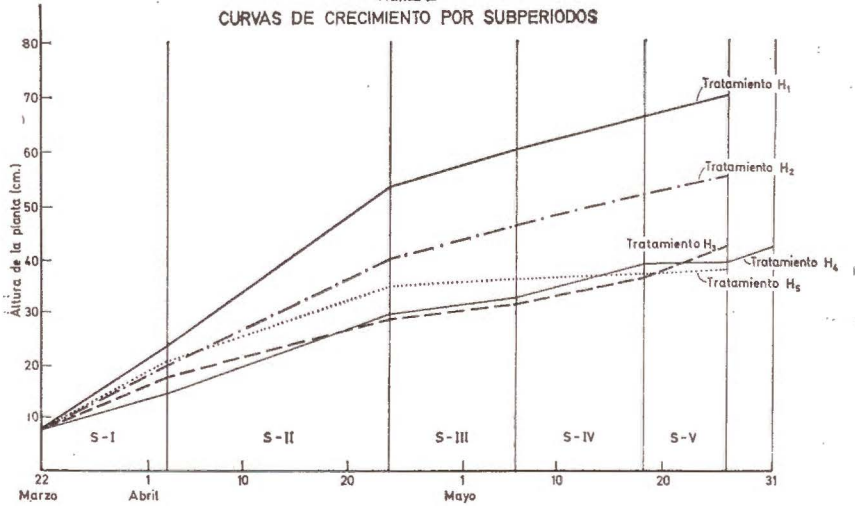
De todo esto se deduce que el desarrollo se ve afectado antes de que la humedad del suelo llegue al punto de marchitamiento, lo cual



Gráfica 1  
EVAPOTRANSPIRACION MEDIA DIARIA DE LOS DISTINTOS  
TRATAMIENTOS EN CADA SUBPERIODO



Gráfica 2  
CURVAS DE CRECIMIENTO POR SUBPERIODOS





está de acuerdo con los trabajos de Richards y Wadleigh (12), pero no con los de Veihmeyer y Hendrickson (14), que dicen que el agua es igualmente utilizable desde la capacidad de campo al punto de marchitez. Hoy día se acepta que a medida que el agua contenida en el suelo decrece, es menor su utilización por las plantas.

Por otro lado, en la tabla II se aprecia que la duración del ciclo vegetativo se acorta a medida que el suministro de agua es más intenso.

TABLA II

*Fechas de espigazón y maduración de las semillas*

	Tratam. H <sub>1</sub>	Tratam. H <sub>2</sub>	Tratam. H <sub>3</sub>	Tratam. H <sub>4</sub>	Tratam. H <sub>5</sub>
Fecha espigazón . . .	5 Mayo	12 Mayo	16 Mayo	20 Mayo	16 Mayo
Fecha maduración . .	31 Mayo	5 Junio	12 Junio	20 Junio	12 Junio

En caso del tratamiento H<sub>5</sub>, a pesar de recibir mayor dotación total de agua de riego que el H<sub>3</sub>, coincide en la duración del ciclo, quizás por sufrir de falta de agua en el suelo en el tiempo de la espigazón.

*Valores biométricos al final del ciclo biológico*

En la tabla III se presentan dichos valores medios de las cuatro repeticiones de cada tratamiento.

TABLA III

*Valores biométricos medios al final del ciclo biológico*

Tra- tamiento	Altura planta cm.	Número de hijos	Peso paja g.	Número granos	Peso grano g.	Peso grano mg / Núm. granos
H <sub>1</sub>	68,0	6,3	10,1	61,5	2,12	34,5
H <sub>2</sub>	52,0	5,0	8,0	30,0	1,15	38,3
H <sub>3</sub>	39,4	3,5	6,9	14,3	0,43	30,1
H <sub>4</sub>	30,6	5,5	7,1	14,8	0,28	18,9
H <sub>5</sub>	28,9	4,0	7,0	10,5	0,29	27,8

También en la fotografía realizada el día 23 de mayo, durante la fase de espigazón, podemos observar las diferencias de desarrollo vegetativo, así como de granos producidos, entre los cinco tratamientos.

Se observa en caso de los tratamientos  $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$  que a menor dotación de agua de riego, son menores todos los parámetros medidos en las plantas. Estas apreciaciones coinciden para el caso de la paja con las de Eberhardt y Krzysch en diversas variedades de avena cultivada (2), y con las de Lerch y Müller-Stoll en la misma especie (7). Por otro lado, De Wit (15) y Arkley (1) en diversos cultivos observan una estrecha correlación lineal entre agua transpirada y materia seca producida.

Trat.  $H_5$ Trat.  $H_4$ Trat.  $H_3$ Trat.  $H_2$ Trat.  $H_1$ 

En caso del tratamiento  $H_4$ , la altura de la planta es escasa, como corresponde a un bajo abastecimiento de agua; sin embargo, el número de hijos es superior a los  $H_2$ ,  $H_3$  y  $H_5$ , quizás debido a un superior enraizamiento en condiciones de «stress de humedad» y posterior riego intenso. El número de granos es muy bajo y aún más el peso de los mismos, así como la relación peso de grano/número de granos, debido a que la fase de formación del grano (época de grandes necesidades hídricas) la pasó la planta en momento de marchitez, por lo que se secó la paja antes de realizarse una granazón adecuada.

Respecto al tratamiento  $H_5$ , el número de hijos es superior al tratamiento  $H_3$ , pues en época del ahijado el volumen de riego era todavía superior al de dicho tratamiento. También posee una menor altura, número de granos y peso de los mismos, que el  $H_3$ , ya que durante la espigazón fue insuficiente la cantidad de agua suministrada para aten-

der las necesidades evapotranspiradoras de la planta en ese momento, en que además se produce un crecimiento adicional de la misma.

#### *Contenido de nutrientes en el suelo al final del ciclo biológico*

En la tabla IV se presentan los valores medios de los mismos, de las cuatro repeticiones de cada tratamiento. El análisis del suelo se hizo una vez arrancada la planta y extraídas la mayor parte de las raíces del suelo, aunque no se pudieron extraer las más finas.

En todos los tratamientos se puede observar un aumento de los contenidos en materia orgánica, nitrógeno, calcio y magnesio y disminuyen los de carbonatos, fósforo y potasio, con respecto al análisis de suelo previo al experimento.

El aumento de los niveles en materia orgánica y nitrógeno se debe al aporte de material orgánico por las raicillas de la planta que no se pudieron extraer y que fue superior a la descomposición de la misma y a la extracción de nitrógeno durante el ciclo biológico. En caso del nitrógeno, hubo además un aporte de este elemento con la fertilización.

El aumento de los valores de calcio se debe a los aportes efectuados de este elemento al realizar la fertilización, que fueron superiores a las extracciones hechas por las plantas, además es debido a la disminución de los valores de carbonatos.

Los aumentos observados en magnesio no son significativos aparentemente, pues se hallan comprendidos dentro del error analítico.

La disminución en carbonatos puede ser consecuencia de la transformación en el suelo del nitrato amónico.

Parece observarse en los tratamientos H<sub>4</sub> y H<sub>5</sub>, con respecto al resto, una relación directa en cuanto al contenido en materia orgánica del suelo y el número de hijos en relación a la altura de la planta, quizás como apuntamos anteriormente, por una posible relación entre el enraizamiento y el ahijado respecto al desarrollo en vertical.

En general, se observa que a mayor dotación de riego disminuyen más los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O en el suelo, como consecuencia de una mayor absorción por la planta.

#### *Valores analíticos de la paja y exportación de nutrientes*

Se considera como paja toda la parte aérea de la planta, excepto los granos. Esta se recolectó y secó en estufa a 70° C, sobre cuyo material seco y triturado se efectuaron las determinaciones analíticas.

En la tabla V se presentan los valores analíticos obtenidos.

Al aumentar el volumen de riego es menor la concentración de la

TABLA IV

*Valores analíticos del suelo al final del ciclo biológico*

Tratamiento	pH		CO <sub>3</sub> %	M. O. %	N %	C/N	Ca	mg./100 g. suelo		
	H <sub>2</sub> O	ClK						Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
H <sub>1</sub>	7,84	7,33	17,7	2,11	0,133	9,2	570	61	109	36
H <sub>2</sub>	7,81	7,31	18,3	2,10	0,133	9,2	575	64	116	42
H <sub>3</sub>	7,74	7,29	18,5	2,15	0,117	10,7	580	63	139	42
H <sub>4</sub>	7,79	7,33	18,1	2,20	0,114	11,2	563	63	117	40
H <sub>5</sub>	7,70	7,29	18,1	2,18	0,114	11,0	568	61	129	41

TABLA V

*Valores analíticos de la paja al final del ciclo biológico*

Tratamiento	N	P	% sobre materia seca			S	Na	Fe	p. p. m.		B
			K	Ca	Mg				Mn	Zn	
H <sub>1</sub>	0,38	0,06	3,65	0,30	0,23	0,15	0,31	175	30	27	53
H <sub>2</sub>	1,00	0,06	3,60	0,45	0,33	0,19	0,33	170	35	41	50
H <sub>3</sub>	1,40	0,07	3,65	0,61	0,40	0,16	0,37	235	55	52	17
H <sub>4</sub>	2,00	0,16	4,65	0,62	0,44	0,33	0,47	210	70	62	50
H <sub>5</sub>	1,70	0,09	3,60	0,60	0,36	0,19	0,25	150	40	43	48



planta en N, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn, como consecuencia del denominado «efecto de dilución», pues a mayor riego es superior el desarrollo vegetativo y, por tanto, los nutrientes han de distribuirse en mayor masa vegetal; Gachon (4) cree que en condiciones de humedad abundante es superior el crecimiento a la absorción, observando un fenómeno de dilución para el N en caso de cereales. Respecto al P, K, S, Na y B no hallamos correlación con el riego.

En caso del tratamiento H<sub>4</sub>, las concentraciones son muy superiores al resto de los tratamientos, no sólo por recibir la menor dotación de riego, sino por el frecuente déficit de agua a que han estado sometidas las plantas a lo largo de su ciclo. Esto coincide con las apreciaciones de Lundegårdh (9), que cree que la falta de agua en el suelo produce plantas menos desarrolladas y con mayor concentración de nutrientes.

Revisando la bibliografía al respecto, encontramos que nuestras apreciaciones coinciden con las de unos autores para algunos elementos y otras veces son contrarias. Así para Hutcheon y Rennie (6), en el cultivo del trigo, encuentran que al disminuir la humedad, aumenta la concentración en nitrógeno y disminuye la de fósforo. Para Letey, Richardson y Valoras (8), al disminuir la humedad del suelo, aumentan las concentraciones en nitrógeno y potasio en la cebada, no variando la de fósforo. Hernando, Sánchez Conde y Contreras (5), observan una mayor asimilación de PO<sub>4</sub>, Mg, K y Ca por el trigo a una humedad alta en el suelo, y de N a una humedad baja.

En general, parece estarse de acuerdo en que a mayor humedad en el suelo es menor la cantidad de nitrógeno absorbido. Pero respecto a los otros bioelementos se obtienen resultados dispares, dependiendo de la especie estudiada, condiciones edafoclimáticas, etc.

A continuación se presenta una tabla con la exportación total de nutrientes, realizada por la paja. Para ello, nos basamos en las concentraciones de nutrientes y peso de paja obtenido al final del ciclo biológico.

Se observa que a mayor dotación de riego, es mayor la exportación por la cosecha en P, K, S y B y menor en N, Ca, Mg y Zn. Esto concuerda perfectamente con lo observado anteriormente en el capítulo de contenido final de nutrientes en suelo. Así, en caso del P y K descendían sus niveles en suelo al aumentar el riego y sin embargo aumentaba el nivel de N. De aquí se puede deducir que en caso de la *Avena ludoviciana*, la humedad del suelo está directamente relacionada con la absorción por la planta de P y K, e inversamente con la de N.

Respecto al tratamiento H<sub>4</sub>, hay que indicar que generalmente produce en casi todos los nutrientes las mayores exportaciones totales por la planta, como consecuencia de poseer éstas unas concentraciones muy elevadas de los mismos y un peso de paja similar a los tratamientos H<sub>3</sub> y H<sub>5</sub>, por su elevada relación de número de hijos a altura de la planta.

TABLA VI

*Exportación de nutrientes por la paja al final del ciclo biológico*

Tratamiento	N	P	K	mg.							
				Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn	B
H <sub>1</sub>	38,4	6,1	366,8	30,3	23,2	15,2	31,2	1,77	0,30	0,27	0,53
H <sub>2</sub>	80,0	4,8	288,0	36,0	26,4	15,2	26,4	1,36	0,28	0,33	0,40
H <sub>3</sub>	96,6	4,8	251,9	42,1	27,6	11,0	25,5	1,62	0,38	0,36	0,12
H <sub>4</sub>	142,0	11,4	330,1	44,0	31,2	23,4	33,4	1,49	0,50	0,44	0,36
H <sub>5</sub>	110,0	6,3	252,0	42,0	25,2	13,3	17,5	1,05	0,28	0,30	0,34

TABLA VII

*Valores analíticos de grano al final del ciclo biológico*

Tratamiento	N	P	% sobre materia seca					p. p. m.			
			K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn	B
H <sub>1</sub>	1,60	0,26	0,80	0,09	0,15	0,19	0,013	300	35	33	66
H <sub>2</sub>	2,10	0,21	0,90	0,10	0,13	0,21	0,015	245	40	44	27
H <sub>3</sub>	2,00	0,24	1,10	0,11	0,12	0,16	0,015	165	40	44	21

TABLA VIII

*Exportación de nutrientes por el grano al final del ciclo biológico*

Tratamiento	N	P	K	mg.							
				Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn	B
H <sub>1</sub>	33,92	5,51	16,96	1,91	3,18	3,39	0,28	0,64	0,074	0,070	0,140
H <sub>2</sub>	24,15	2,42	10,35	1,15	1,50	2,42	0,17	0,28	0,046	0,041	0,031
H <sub>3</sub>	6,60	0,79	3,63	0,36	0,40	0,53	0,05	0,05	0,013	0,015	0,007

### *Valores analíticos del grano y exportación de nutrientes*

Dentro de la acepción «grano», se consideran incluidos semilla, patea, lemma y aristas.

Debido a la escasez de granos obtenidos en los tratamientos  $H_3$ ,  $H_4$  y  $H_5$ , como consecuencia del escaso volumen de riego que recibían las plantas de los mismos, hubo que recurrir para hacer el análisis de dicho material a juntar los granos de ambos tratamientos y analizarlos conjuntamente, identificando a dicho conjunto como tratamiento  $H_3'$ . A pesar de ello, fue de interés disponer de dicho análisis, ya que el riego que se suministraba en cada uno de dichos tratamientos era inferior al del tratamiento  $H_2$ .

A continuación se presenta la tabla VII de concentración de nutrientes en grano.

Existe una tendencia de que a mayor dosis de riego, es menor la concentración en el grano en N y K, y mayor en Fe y B, no encontrándose clara correlación para el resto de bioelementos, pues las diferencias se hallan dentro de los errores analíticos.

A continuación en la tabla VIII se presenta la exportación total de nutrientes por el mismo.

Se observa que la exportación total de nutrientes es superior al aumentar la dosis de riego, como consecuencia de un mayor peso de grano. El peso de grano del  $H_3'$ , es el peso medio del grano de los  $H_3$ ,  $H_4$  y  $H_5$ .

### CONCLUSIONES

Se observa que la duración del ciclo vegetativo de la *Avena ludoviciana* se acorta a medida que el suministro de agua es más intenso.

La época de mayor consumo de agua por esta especie es la espigazón, seguida del encañado.

Cuando con una cierta cadencia se la somete a un déficit de agua, se produce un incremento del número de hijos, en relación a la altura de la planta y como consecuencia de espigas y granos.

Después de la separación de la planta del suelo, al final de su ciclo biológico, éste queda enriquecido en materia orgánica y nitrógeno y más aún en los tratamientos de escaso riego. En caso del  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , descienden sus valores en el suelo, al aumentar la dosis de riego.

La humedad del suelo en esta especie afecta más al peso de grano que al de paja. De forma que a mayor dosis de riego es mayor la relación peso grano/peso paja.

Al aumentar la dosis de riego, es menor la concentración de la paja en N, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn, e indiferente para los otros bioelementos.



En el tratamiento que sufre cadencialmente de un déficit de agua, la concentración de bioelementos es muy superior al resto de los tratamientos. Respecto a la exportación total de nutrientes por la paja se saca la conclusión de que la humedad del suelo está relacionada directamente con la absorción de P y K, e inversamente con la de N.

A mayor dosis de riego, es menor la concentración del grano en N y K, mayor en Fe y B, e indiferente para el resto.

#### RESUMEN

Se obtienen una serie de resultados sobre el desarrollo y nutrición de la *Avena ludoviciana* Dur., especie de avena silvestre que invade los campos cerealistas, al someterla a diversos tratamientos de dosis de riego.

Cuanto más intenso es el suministro de agua, mayor es el desarrollo y más corto el ciclo biológico de la especie, siendo mayor la absorción de P y K, menor de N, y variable para otros bioelementos, además de menor concentración de N y K, mayor de Fe y B e indiferente para otros bioelementos en grano.

Cuando se somete esta especie a «stress» de agua sucesivos a lo largo de su ciclo biológico, se obtiene un incremento en el número de hijos en relación a la altura de la planta y una concentración y exportación total de nutrientes superior a la de otros tratamientos de humedad del suelo.

La época de mayor consumo de agua por esta especie es la espigazón, seguida del encañado.

*Instituto de Edafología y Biología Vegetal.  
Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Madrid.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ARKLEY, R. J. 1963. Relationships between plant growth and transpiration. *Hilgardia*, 34, 559-584.
- (2) EBERHARDT, W., KRZYSCH, C. 1959. Der Einfluss der Wasser- und Nährstoffresorption auf den Spelzengehalt einiger Hafersorten. *Z. PflErnähr Düng.*, 86, 111-120.
- (3) ENGLAND, C. B. 1963. Water use by several crops in a weighing lysimeter. *Agron. Jour.*, 55, 239-242.
- (4) GACHON, L. 1959. Diagnostic foliare des céréales et détermination rationnelle de la fumure. *Ann. Agron.*, 309-312.
- (5) HERNANDO, V., SÁNCHEZ CONDE, M.<sup>a</sup> P. y CONTRERAS, J. G. 1963. Influencia de los niveles de yeso y de humedad en la fertilidad de un suelo yesoso. *An. Edaf. y Agrob.*, 22, 7-8.
- (6) HUTCHESON, W. L. y RENNIE, D. A. 1960. The relationships of soil moisture stress and nutrient availability to the growth characteristics and quality of wheat. 7 th. Int. Cong. Soil. Sci., 3, 488-495.
- (7) LERCH, G. y MÜLLER-STOLL, W. R. 1966. Effect of differential moisture supply on CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration, dry-matter production and water consumption of *As sativa*. *Kulturpflanze*, 14, 381-418.



- (8) LETEY, J., RICHARDSON, W. F. y VALORAS, N. 1965. Barley growth, water use, and mineral composition as influenced by oxygen exclusion from specific regions of the root system. *Agron. Jour.*, 57, 629-631.
- (9) LUNDEGARDH, H. 1951. Leaf analysis. Hilgewatte. London.
- (10) VAN DER PAAUW, F. 1949. Water relations of oats with especial attention to the influence of periods of drought. *Plant and Soil*, 1, 303-341.
- (11) PAUNERO, E. 1957. Las avenas españolas. III. *An. Inst. Bot. A. J. Cavanilles.*, 25, 377-415.
- (12) RICHARDS, F. J., WADLEIGH, C. H. 1952. Soil physical conditions and plant growth. Acad. Press. New York, 73-251.
- (13) STAPLE, W. J. y LEHANE, J. J. 1954. Weather conditions influencing wheat yields in tanks and field plots. *Can. Jour. of Agr. Sci.*, 35, 552-564.
- (14) VEIHMEYER, F. J. y HENDRICKSON, A. H. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1, 285-304.
- (15) DE WIT, O. C. 1958. Transpiration and crop yields. Wageningen Medeleling, 59.

Recibido para publicación: 15-IV-75

# CAPACIDAD TAMPON DE POTASIO EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO DE LA ISLA DE TENERIFE

V

por

E. FERNANDEZ CALDAS, J. HERNANDEZ MORENO y A. BORGES PEREZ

## SUMMARY

### POTASSIUM BUFFERING CAPACITIES IN DIFFERENT SOIL TYPES OF TENERIFE ISLAND. V

Potassium buffering capacities of three soil types of Tenerife Island are studied by PBCKE and PBCKF parameters. High PBCKE values are associated to soils with high clay content. PBCKF (slope of the  $Q/\Delta F$  or  $Q/RT$  in ARK curves at  $ARK_0$ ) values are closely related to the potassium labile pools.

## INTRODUCCIÓN

En una serie de trabajos anteriores (Fernández Caldas y col., 1975) hemos descrito las relaciones  $Q/I$  de potasio en tres tipos de suelo de la Isla de Tenerife. Asimismo se estudió en estos trabajos la relación de algunos parámetros deducidos de las curvas  $Q/I$  de potasio con otras características de los suelos.

En el presente trabajo nos proponemos completar el estudio de estos parámetros en los tres tipos de suelo estudiados.

Para medir la capacidad tampón de un suelo con respecto al potasio se han utilizado los parámetros PBCK y PBCKE deducidos de las curvas Cantidad-Intensidad (Cantidad/ARK); estos parámetros fueron descritos para nuestros suelos en los trabajos antes citados.

Algunos autores (Addiscott y Talibudeen, 1969) han señalado la importancia de la capacidad tampón deducida de las curvas Cantidad/Potencial (Cantidad/ $RT \ln$  ARK) en la absorción de potasio por las plantas. En nuestros suelos, y por analogía con el parámetro PBCKE, hemos calculado la pendiente de la curva Cantidad/Potencial en el punto de intersección de ésta con el eje de potenciales. Debido a que la mayor

parte de los autores consultados adoptan los términos PBCK y PBCKE para definir la Capacidad Tampón en las relaciones Cantidad/ARK, en el presente trabajo denominamos PBCKF (F, de energía libre) a la capacidad tampón potencial.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Hemos seleccionado tres andosoles, tres vertisoles y dos suelos pardos de la Isla de Tenerife. Las características de estos suelos, así como las técnicas experimentales utilizadas, han sido descritas en trabajos anteriores (Fernández Caldas y cols., 1975).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede observarse en la tabla I, los andosoles presentan valores de PBCKF más bajos con relación a los demás suelos, especialmente en los horizontes superficiales. En la gráfica 1, comparamos los valores de PBCKF con los de PBCKE en todos los suelos; podemos observar que en general ambos parámetros siguen tendencias opuestas a lo largo del perfil, por lo que a altos valores de PBCKE suelen corresponder bajos valores de PBCKF. Por tanto, el concepto de «capacidad tampón», es decir, la capacidad de un suelo para mantener una intensidad determinada de potasio frente a la fertilización o empobrecimiento, es diferente según se mida una curva Cantidad/Intensidad o Cantidad/Potencial. Addiscott y Talibudeen (1969) han señalado que la expresión más correcta de «capacidad tampón» viene dada por la capacidad tampón potencial (PBC), y que este parámetro disminuye a medida que el suelo se empobrece en potasio; es decir, hay que realizar un mayor trabajo para extraer la misma cantidad de potasio por unidad de masa de suelo. A este respecto, hemos comparado el parámetro PBCKF con el porcentaje de saturación de potasio en el suelo y con las reservas de potasio lábil tal como se calcularon en un trabajo anterior (Fernández Caldas y col., 1975). En la gráfica 2 podemos observar que, en general, PBCKF evoluciona paralelamente con el porcentaje de potasio de cambio a lo largo del perfil. Existen dos excepciones importantes: el perfil Chinyero, vitrandept poco evolucionado con una baja capacidad de cambio en los horizontes inferiores que presentan, por tanto, una saturación de potasio muy elevada; la otra excepción es el perfil Bajamar (vertisol), que contiene una cantidad elevada de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

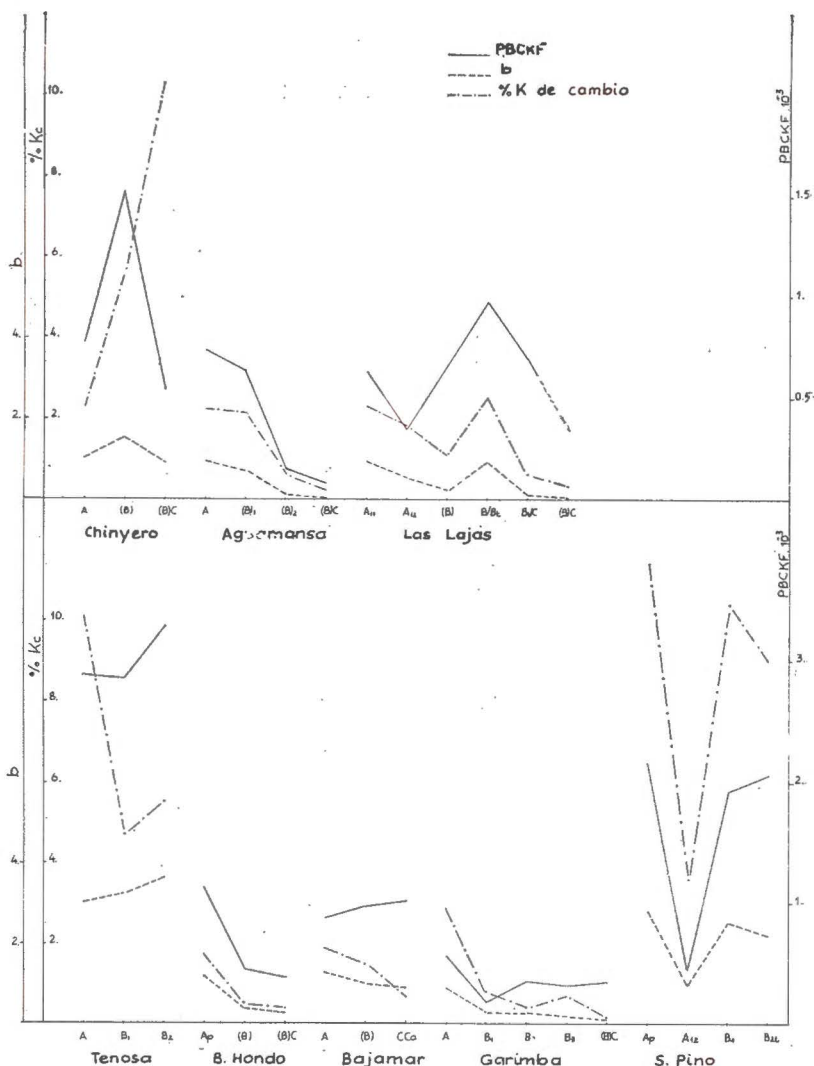
También podemos observar en la gráfica 2 una relación muy estrecha entre PBCKF y las reservas de potasio lábil (b). Los coeficientes

TABLA I

Perfil	Horizonte	PBCKF · 10 <sup>3</sup>	PBCKE	b (reserva K lábil)
Chinyero.....	A	0,78	67	1,0
	(B)	1,52	63	1,5
	(B)/C	0,54	36	0,9
Aguamansa.....	A	0,73	60	0,9
	(B) <sub>1</sub>	0,63	54	0,7
	B <sub>2f</sub>	0,15	73	0,1
	)/C	0,08	170	—
Las Lajas.....	A <sub>11</sub>	0,62	71	0,9
	A <sub>12</sub>	0,34	97	0,5
	(B)	0,31	138	0,2
	B/B <sub>f</sub>	0,97	400	0,9
	B <sub>f</sub> /C	0,69	725	0,1
(B)/C	0,34	437	—	
Tenosa.....	A <sub>1</sub>	2,87	116	3,0
	B <sub>1</sub>	2,85	145	3,2
	B <sub>2</sub>	3,27	95	3,6
Barranco Hondo.....	A <sub>p</sub>	1,13	200	1,2
	(B)	0,45	445	0,4
	(B)/C	0,37	705	0,3
Bajamar.....	A	0,88	468	1,3
	(B)	0,97	513	1,0
	C/C <sub>a</sub>	1,03	293	0,9
Garimba.....	A <sub>2</sub>	0,56	158	0,9
	B <sub>1</sub>	0,18	316	0,3
	B <sub>2</sub>	0,36	1.470	0,3
	B <sub>3</sub>	0,32	620	0,2
	(B)/C	0,34	902	0,1
S. del Pino.....	A <sub>p</sub>	2,16	44	2,8
	A <sub>12</sub>	0,45	111	1,0
	B <sub>1</sub>	1,91	300	2,5
	(B) <sub>2</sub>	2,06	351	2,2

PBCKE: (meq/100 g.) por (mol/l.)<sup>1/2</sup>; PBCKF: (meq/100 g.) por (cal/mol.);  
b: meq/100 g.

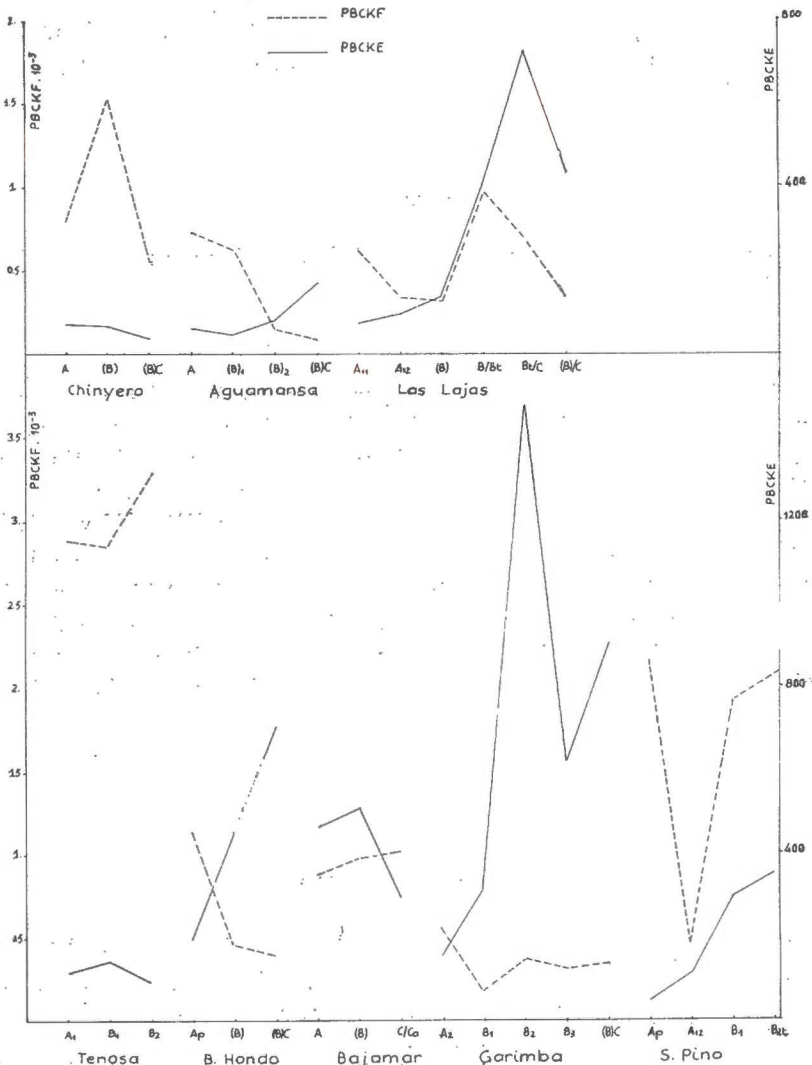




Gráfica 1

de correlación calculados en los tres grupos de suelos (incluyendo todos los horizontes) indican que esta relación es de tipo lineal. El coeficiente de correlación más elevado se obtiene en el grupo de los vertisoles ( $r = 0,99$ ;  $n = 9$ ) y el más bajo en el grupo de los andosoles ( $r = 0,83$ ;  $n = 11$ ). El coeficiente de correlación calculado para todos los suelos estudiados es de  $0,93$  ( $n = 29$ ). Hemos intentado explicar la causa de

esta relación: consideramos la relación  $Q/I$ ,  $Q = f(I)$ , donde  $I$  representa la razón de actividades,  $AR/K$ , y  $Q$  representa  $\pm \Delta K$  meq/100 gr., y la relación Cantidad/Potencial,  $Q = g(\Delta F)$ , donde  $Q$  tiene el mismo significado anterior y  $\Delta F = 1364 \log I$ , por lo que  $I = 10 \frac{\Delta F}{1364}$ . Cuando el suelo no pierde ni gana potasio,  $Q = 0$ , que corresponde



Gráfica 2

a  $I_0$  ( $ARK_0$ ) en la relación Cantidad/Intensidad y a  $\Delta F_0$  en la relación Cantidad/Potencial, luego  $\Delta F_0 = 1364 \log I_0$ .

$$0 = f(I_0) = f(10^{\Delta F_0/1364}) = g(\Delta F_0).$$

Si llamamos tg A y tg B a las pendientes de las curvas  $Q = f(I)$  en  $I_0$  y  $Q = g(\Delta F)$  en  $\Delta F_0$  respectivamente, tenemos

$$\text{tg B} = \left( \frac{dQ}{d\Delta F} \right)_0 = \left( \frac{dQ}{dI} \right)_0 \cdot 10^{\Delta F_0/1364} \cdot \frac{\ln 10}{1364} = \text{tg A} \cdot I_0 \cdot \frac{\ln 10}{1364}$$

$$\text{Luego tg B} = \text{tg A} \cdot I_0 \cdot \frac{\ln 10}{1364}$$

Como tg B y tg A representan por definición los parámetros PBCKF y PBCKE respectivamente, tenemos

$$\text{PBCKF} = 0,00168 \cdot I_0 \cdot \text{PBCKE} \quad (1).$$

Observemos que  $\text{PBCKE} \cdot I_0$  es precisamente la ordenada en el origen de la tangente a la curva  $Q/I$  en  $I_0$ , es decir, representa una cantidad de potasio ( $-\Delta K$ ) determinada por la pendiente en  $I_0$ . Por tanto, PBCKF es proporcional a una cantidad de potasio. La ecuación (1) también explica la relación antes comentada entre PBCKF y PBCKE.

De estas consideraciones observamos que aunque el parámetro PBCKE depende del contenido de potasio cambiante (Addiscot y Talibudeen, 1969), parece tener más influencia la cantidad de arcilla del suelo (Fernández Caldas y col., 1975); mientras que PBCKF en este estudio está relacionado principalmente con el contenido de potasio lábil.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ADDISCOTT, T. M. and TALIBUDEEN, O. (1969). The buffering capacity of potassium reserves in soils. *Revista de la Potasa*, Sección 4, 45 a.
- (2) FERNÁNDEZ CALDAS, E., BORGES PÉREZ, A. y HERNÁNDEZ MORENO, J. (1975). Relaciones  $Q/I$  de potasio en andosoles de la Isla de Tenerife. I. *Anales de Edafología y Agrobiología*, XXXIV, 1021-1030.
- (3) FERNÁNDEZ CALDAS, E., HERNÁNDEZ MORENO, J. y BORGES PÉREZ, A. (1975). Relaciones  $Q/I$  de potasio en vertisoles y suelos pardos de la Isla de Tenerife. II. *Anales de Edafología y Agrobiología*, XXXIV, 1031-1042.
- (4) FERNÁNDEZ CALDAS, E., HERNÁNDEZ MORENO, J. y BORGES PÉREZ, A. (1975). Estudio comparativo de las relaciones  $Q/I$  de potasio en diferentes tipos de suelo de la

Isla de Tenerife. III. Anales de Edafología y Agrobiología, XXXV, páginas 103-110.

- (5) FERNÁNDEZ CALDAS, E., BORGES PÉREZ, A. y HERNÁNDEZ MORENO, J. (1975). Relaciones  $Q/I$  de potasio en suelos de la Isla de Tenerife. IV. Cálculo de las reservas de potasio lábil por reducciones sucesivas de la razón de actividades,  $a K/a_{(Ca + Mg)}^{1/2}$ . Anales de Edafología y Agrobiología, XXXV, páginas 151-158.

Recibido para publicación: 15-IV-75





# RELACIONES Q/I DE POTASIO EN SUELOS DE LA ISLA DE TENERIFE

## IV. CALCULO DE LAS RESERVAS DE POTASIO LABIL POR REDUCCIONES SUCESIVAS DE LA RAZON DE ACTIVIDADES, $a_K/a^{1/2}_{(Ca + Mg)}$

por

E. FERNANDEZ CALDAS, A. BORGES PEREZ y J. HERNANDEZ MORENO

### SUMMARY

#### Q/I RELATIONSHIPS IN SOILS OF TENERIFE ISLAND. IV. ESTIMATION OF THE POTASSIUM LABILE POOL BY SUCCESSIVE REDUCTIONS IN THE ACTIVITY RATIOS

Potassium labile pool of three soil groups of Tenerife Island is measured by successive reductions in the activity ratio ( $a_K/a_{Ca + Mg}$ ) of the equilibrium solution. There is no marked difference in potassium labile pools between the three soil types. Exchangeable potassium values ( $NH_4Ac$ ) are always higher than potassium labile pools in the group of Andosols. In this group, the intensity values, ( $ARK_0$ ), are high compared with the potassium labile pools.

### INTRODUCCIÓN

De los parámetros deducidos de las relaciones Q/I de potasio en el suelo, los parámetros  $\Delta K^0$  y  $K_L$  dan una medida del contenido de potasio lábil (Beckett, 1964).  $\Delta K^0$  representa el potasio cambiante en las superficies planares de los minerales de arcilla y se obtiene por extrapolación de la parte lineal de la curva Q/I con el eje de  $\Delta K$ . El parámetro  $K_L$  es la suma de  $\Delta K^0$  y del contenido de potasio cambiante retenido por fuerzas específicas para este elemento (Beckett, 1964; Beckett y Nafady, 1967); se obtiene por extrapolación de la curva Q/I con el eje de  $\Delta K$ . Por tanto,  $K_L$  mide la cantidad total de potasio cambiante durante el período de equilibrio.

En el estudio de las relaciones Q/I de potasio en suelos de la isla de Tenerife (Fernández Caldas y cols., 1975) encontramos en muchas

muestras que la extrapolación de la parte lineal de la curva daba valores de  $\Delta K^0$  positivos y que prácticamente no existía el tramo inferior de la curva correspondiente a la liberación de potasio. Estos resultados pueden atribuirse a que la mayoría de los suelos seleccionados nunca han sido fertilizados y a que el estudio se realizó en todo el perfil del suelo, presentando en general los horizontes profundos un contenido muy bajo de potasio cambiabile. En consecuencia, no fueron calculados los valores de potasio lábil por extrapolación de la curva Q/I.

Según Beckett (Beckett, 1964), el tramo lineal de las curvas Q/I de potasio describe el cambio K-Ca en superficies cargadas negativamente que presentan las mismas energías de enlace para Ca y K. La inflexión que se produce en el tramo inferior de la curva Q/I es debida a la aparición de enlaces selectivos para el potasio, por lo que la curva Q/I experimental puede considerarse como resultante de las curvas que describen los mecanismos de cambio citados. Este mismo autor señala que el cambio que tiene lugar en los sitios específicos para el potasio puede ser descrito por una isoterma de adsorción de Langmuir.

Por otra parte, Hagin y Feigenbaum (Hagin and Feigenbaum, 1962) han estimado las reservas de potasio lábil mediante un método de empobrecimiento exhaustivo del suelo por extracciones sucesivas con un electrolito diluido. Al estudiar gráficamente las cantidades acumulativas de potasio liberado en las sucesivas extracciones frente a los volúmenes de extracto, obtienen curvas similares a la isoterma de Langmuir. Esta circunstancia permite aplicar a los datos obtenidos una ecuación similar a la de esta isoterma. De acuerdo con la forma lineal de la isoterma de Langmuir, estos autores presentan la siguiente ecuación:

$$\frac{\Sigma V}{\Sigma K} = \frac{1}{b} \cdot \Sigma V + \frac{1}{b \cdot A} \quad (1),$$

donde  $\Sigma V$  representa el volumen de extracto acumulativo,  $\Sigma K$  el potasio acumulativo extraído en meq/100 gr. de suelo, siendo  $b$  y  $A$  constantes.

Una transformación de la ecuación (I) da el significado de la constante  $b$ :

$$\Sigma K = \frac{b}{1 + \frac{1}{A \cdot \Sigma V}}$$

donde se observa que si  $\Sigma V$  tiende a infinito  $\Sigma K = b$ . Según Hagin y Feigenbaum (1962),  $b$  representa la cantidad máxima de potasio que puede ser extraída potencialmente del suelo.

Como indicamos anteriormente, en algunos suelos de la isla de Tene-

rife no fue posible el cálculo de los parámetros  $\Delta K^0$  y  $K_L$ , por lo que en el presente trabajo hemos calculado las restantes de potasio lábil según la técnica de Hagin y Feigenbaum (1962), pero empleando la relación suelo-solución y tiempo de equilibrio utilizados en la determinación de las relaciones Q/I de potasio (Fernández Caldas y cols., 1975). Es decir, ampliamos el tramo inferior de la curva Q/I mediante reducciones sucesivas de ARK y aplicamos los resultados obtenidos a la ecuación (I) para la determinación del parámetro  $b$ . De esta manera obtenemos un parámetro que nos da una medida del potasio lábil referido a las condiciones de equilibrio de las curvas Q/I. Beckett (1964) empleó este procedimiento de reducciones sucesivas de ARK por extracciones de una misma muestra de suelo para demostrar que la curvatura producida por el tramo inferior de la curva Q/I era el resultado de la aparición de enlaces selectivos para el potasio.

#### MATERIAL Y MÉTODOS

Se han seleccionado ocho perfiles de la isla de Tenerife correspondientes a tres andosoles, tres vertisoles y dos suelos pardos. Sólo dos de ellos, Salto del Pino (suelo pardo) y Barranco Hondo (vertisol), han sido cultivados. El estudio se ha realizado en todos los horizontes de los perfiles. Las características de estos suelos, así como sus parámetros Q/I, han sido descritos en trabajos anteriores (Fernández Caldas y cols., 1975).

#### *Relaciones Q/I*

El procedimiento fue descrito en trabajos anteriores (Fernández Caldas y cols., 1975).

#### *Extracciones sucesivas*

Se agitan 2 gr. de suelo con 40 ml. de solución de  $\text{CaCl}_2$  0,005 M durante treinta minutos. Se centrifuga, se filtra la solución sobrenadante y el suelo se vuelve a tratar con 40 ml. del mismo reactivo. De esta manera se realizan ocho extracciones. En los filtrados se analiza K por fotometría de llama y Ca y Mg por absorción atómica.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las muestras se ha realizado un total de ocho extracciones, dado que en general en la octava extracción se alcanzaba el valor



de 0,02 meq/100 gr., límite señalado por Hagin y Feigenbaum (1962), para finalizar la serie de extracciones. El proceso no se aplicó al horizonte (B)/C de los perfiles Aguamansa y Las Lajas, puesto que la primera extracción ya dio el valor límite.

Los resultados obtenidos en las extracciones sucesivas se ajustan a la recta (I) en todas las muestras, como puede deducirse de los altos coeficientes de correlación correspondientes (tabla I). De la pendiente de las rectas obtenidas fue calculado el valor del parámetro  $b$ , reserva de potasio lábil. Como podemos observar de la tabla I, los valores de reserva son elevados en los horizontes superficiales, oscilando entre 0.9 y 3,0 meq/100 gr., siendo éste último valor correspondiente al perfil Tenosa, que como indicamos en un trabajo anterior (Fernández Caldas y cols., 1975), pertenece a un suelo rico en potasio.

Graham (Graham y Fox, 1971), al estudiar el contenido de potasio lábil en suelos volcánicos de Hawaii, encontró los valores más bajos en los suelos sometidos a altas precipitaciones e intenso lavado, aumentando el contenido de potasio lábil al disminuir la precipitación. Para este autor el contenido de potasio lábil es equivalente al parámetro  $\Delta K^0$  deducido de las curvas Q/I.

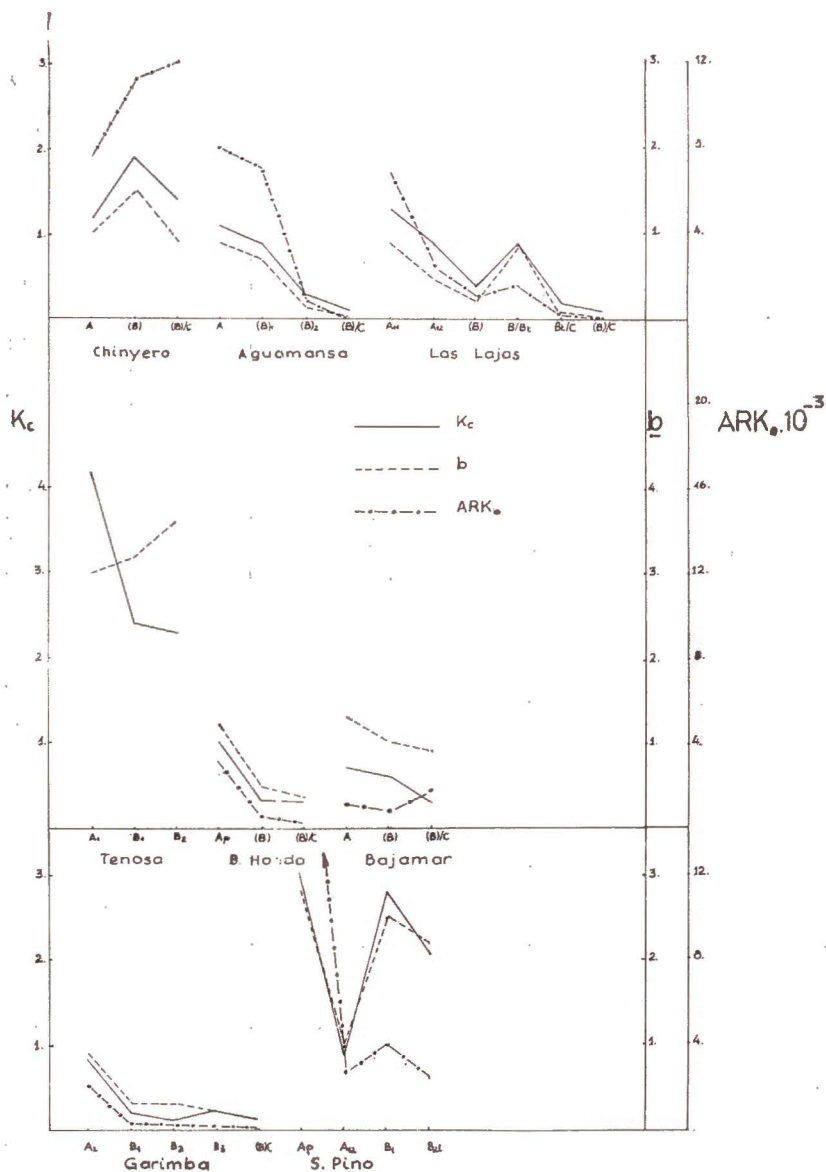
En nuestros suelos no se observan grandes diferencias en las reservas de potasio lábil (parámetro  $b$ ) entre los tres tipos de suelo estudiados, incluso al comparar los andosoles de las zonas altas, sometidos a precipitaciones más elevadas con los vertisoles de las regiones bajas de la isla. Los valores de reserva tienden en general a disminuir con la profundidad del perfil. Los valores de intensidad ( $ARK_0$ ) siguen esta tendencia así como el potasio cambiabile.

Nash (Nash, 1970) ha observado que el potasio cambiabile extraído con acetato amónico resulta equivalente al parámetro  $K_L$  deducido de las curvas Q/I. En la gráfica 1 podemos observar la evolución comparativa de los parámetros  $ARK_0$ ,  $b$ , y potasio cambiabile. En los andosoles, el potasio cambiabile da siempre valores superiores a los valores de reserva ( $b$ ) correspondientes, con diferencias del orden de 0,2 meq/100 gr. En los vertisoles ocurre lo contrario con una sola excepción en el horizonte A del perfil Tenosa; pero en este mismo perfil, la diferencia entre los dos parámetros en el horizonte  $B_2$  es de 1,3 meq/100 gr. En los suelos pardos no hay una tendencia definida, siendo los valores obtenidos para los dos parámetros del mismo orden. Según Graham (Graham y Fox, 1971) el hecho de que el potasio cambiabile extraído con acetato amónico sea más elevado que el potasio lábil ( $\Delta K^0$ ) indica que el suelo contiene minerales potásicos altamente alterables. Asimismo este autor indica que normalmente el valor de  $\Delta K^0$  es igual o superior al potasio cambiabile; cuando es superior, existe potasio asimilable a las plantas, pero no extraíble con acetato amónico. A este respecto no hemos encontrado grandes diferencias en los minerales pri-

T A B L A I

Perfil	Horizonte	r (x)	b (meq/100g)	K cambiable (NH <sub>4</sub> Ac. meq/100 g)	ARK <sub>0</sub> · 10 <sup>2</sup> (mol/l) <sup>1/2</sup>
Chinyero.....	A	0,99	1,0	1,2	7,6
	(B)	0,99	1,5	1,9	11,3
	(B)/C	0,99	0,9	1,4	12,0
Aguamansa... ..	A	0,99	0,9	1,1	8,1
	(B) <sub>1</sub>	0,99	0,7	0,9	7,1
	(B) <sub>2</sub>	0,99	0,1	0,3	0,8
	(C)/C	—	—	0,1	0,1
Las Lajas .....	A <sub>11</sub>	0,99	0,9	1,3	6,9
	A <sub>12</sub>	0,99	0,5	0,9	2,6
	B	0,99	0,2	0,4	1,1
	B/B <sub>c</sub>	0,99	0,9	0,9	1,6
	B <sub>c</sub> /C	0,99	0,1	0,2	0,3
	(B)/C	—	—	0,1	0,1
Tenosa .....	A <sub>1</sub>	0,99	3,0	4,1	16,8
	B <sub>1</sub>	0,99	3,2	2,4	10,9
	B <sub>2</sub>	0,99	3,6	2,3	21,7
Barranco Hondo....	A	0,99	1,2	1,0	3,1
	(B)	0,99	0,4	0,3	0,5
	(B)/C	0,96	0,3	0,3	0,3
Bajamar.....	A	0,99	1,3	0,7	1,1
	(B)	0,99	1,0	0,6	0,9
	C/C <sub>a</sub>	0,99	0,9	0,3	1,8
Salto del Pino.....	A <sub>p</sub>	0,99	2,8	3,0	34,4
	A <sub>12</sub>	0,99	1,0	0,9	2,7
	B <sub>1</sub>	0,98	2,5	2,8	4,1
	B <sub>2c</sub>	0,99	2,2	2,1	2,5
Garimba .....	A <sub>2</sub>	0,99	0,9	0,8	2,1
	B <sub>1</sub>	0,98	0,3	0,2	0,3
	B <sub>2</sub>	0,96	0,3	0,1	0,3
	B <sub>2</sub>	0,95	0,2	0,2	0,1
	(B)/C	0,99	0,1	0,1	0,2

(x) r coeficientes de correlación obtenidas al relacionar  $\frac{\sum V}{\sum K}$  con  $\sum V$  en las ocho extracciones.



Gráfica 1

marios de los tres tipos de suelo estudiados. Los andosoles presentan altos valores de Intensidad ( $ARK_0$ ) con relación a sus reservas de potasio lábil ( $b$ ). Este hecho puede ser atribuido, según Moss y Coulter (1964), a que los suelos alofánicos presentan proporciones variables de cargas positivas y negativas.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BECKETT, P. H. T. (1964). Potassium-calcium exchange equilibria in soils: specific adsorption sites for potassium. *Soil Sci.*, 97, 376.
- (2) BECKETT, P. H. T. and NAFADY, M. H. M. (1967). Potassium-calcium exchange equilibria in soils: the location of nonspecific (Gapon) and specific exchange sites. *J. Soil Sci.*, 18, 244.
- (3) FERNÁNDEZ CALDAS, E., BORGES PÉREZ, A. y HERNÁNDEZ MORENO, J. (1975). Relaciones Q/I de potasio en andosoles de la isla de Tenerife. I. *Anales de Edaf. y Agrobiología*, XXXIV, 1021-1030.
- (4) FERNÁNDEZ CALDAS, E., HERNÁNDEZ MORENO, J. y BORGES PÉREZ, A. (1975). Relaciones Q/I de potasio en vertisoles y suelos pardos de la isla de Tenerife. II. *Anales de Edaf. y Agrobiología*, XXXIV, 1031-1042.
- (5) FERNÁNDEZ CALDAS, E., HERNÁNDEZ MORENO, J. y BORGES PÉREZ, A. (1975). Estudio comparativo de las relaciones Q/I de potasio en diferentes tipos de suelo de la isla de Tenerife. *Anales de Edaf. y Agrobiología*, XXXV, págs. 103-110.
- (6) GRAHAM, E. R. and FOX, R. L. (1971). Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. *Soil Sci.*, 111, 318.
- (7) HAGIN, J. and FEIGENBAUM, S. (1962). Estimation of available potassium reserves in the soils. *Potassium Symp.*, 7, 219.
- (8) MOSS, P. and COULTER, J. K. (1964). The potassium status of West Indian volcanic Soils. *J. Soil Sci.*, 15, 284.
- (9) NASH, V. E. (1970). Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi Coastal Plain as revealed by various extracting agents. *Soil Sci.*, 111, 313.

Recibido para publicación: 15-IV-75





# INFLUENCIA DEL NITROGENO Y DEL POTASIO EN EL CONTENIDO EN BORO DE LA PLANTA DE FRESA

por

J. A. ROSON RUESTRA, I. MARTIN DEL MOLINO y J. SANCHO URSA

## SUMMARY

THE EFFECT OF NITROGEN AND POTASSIUM ON THE BORON CONTENT OF THE STRAWBERRY PLANT IS STUDIED

The concentration of Boron in the plant decreases as the N and K levels increase. An interaction N-K in the Boron content in the plant appears probable. Both the concentration and total Boron present in the different parts of the plant change in a similar way with the N/K ratio of the nutrient solution, for every level of nitrogen tested. Maximum boron accumulation in the plant occurs when the ratio N/K reaches a value of 6.

Although no Boron deficiency symptoms were observed, the ratio Ca/B increases in any part of the plant for N/K ratio values below 3, which could mean the beginning of such deficiency above that figure.

The possibility of yield reduction due to Boron deficiency in the strawberry plant of the Sierra de Francia, suggests the interest of further studies on that deficiency in soils and plants of that area.

## INTRODUCCIÓN

El B es un nutriente indispensable para el normal crecimiento de las plantas. Un tratamiento adecuado en B incrementa las cosechas, en tanto que la deficiencia y toxicidad son fuertemente perjudiciales.

Al igual que los demás, el B está relacionado con otros nutrientes de las plantas, en especial con Ca, K, N y P. Existe amplia bibliografía sobre las relaciones K-B y N-B, pero los resultados varían de unas especies a otras y con diferencias en las condiciones experimentales. En general una fertilización excesiva en N o K disminuye el contenido de B de las hojas.

Eldrow y Shive (4) observan en plantas de tomate que un aumento en K de la solución nutritiva lleva consigo el aumento en el contenido

en B de la planta; sin embargo, si existen síntomas de toxicidad o deficiencia en B, ambos se incrementan con la adición de K. Por el contrario, Wallace (13) indica que en alfalfa, para todos los niveles de B en el medio nutritivo, un incremento en K produce una disminución del contenido en B de la hoja. El mismo efecto señalan otros autores como Rajartnam (8), Ryding (10) y Tanaka (12), quienes observan que la aplicación de K inhibe significativamente la absorción de B.

Las necesidades de B por las plantas también están en función de los suministros de N. Según Nelyubova (6), para niveles óptimos e insuficientes de B, la toma del mismo se incrementa con la concentración en N del medio nutritivo; a excesivas concentraciones de B la absorción no depende del contenido en N del medio. Por el contrario, Ljones (5) señala que un contenido elevado en N reduce el contenido en B en la hoja de frambuesa.

Bubdine (2) indica que al incrementar N o K, los síntomas de deficiencia en B aumentan, pero aplicados juntos la severidad de los mismos es inferior. Según Chapman (3), la deficiencia en K da lugar a una acumulación excesiva de B, mientras que con exceso de N y K las plantas presentan características de deficiencias. Finalmente Peterson (7) encuentra una relación inversa entre N y B y K y B.

A la vista de lo expuesto anteriormente se ha considerado de interés realizar el presente trabajo, que tiene por objeto conocer y evaluar la interacción del nitrógeno y del potasio en el contenido en boro de la planta de fresa.

El estudio se realiza al final del otoño, período que se ha señalado como crítico en la nutrición de la fresa.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Tratamientos y toma de muestra*

Se han cultivado durante dos años plantas de fresa en invernadero en macetas sobre soporte de arena; durante este tiempo se han utilizado soluciones nutritivas con un total de 15 tratamientos, que contienen tres niveles en N: N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> y N<sub>3</sub>, de 3, 6 y 12 meq. de N/l., respectivamente, y 5 niveles en K: K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> y K<sub>5</sub>, de 0,25, 0,5, 1,0, 2,0 y 4,0 meq. de K/l., respectivamente. La concentración de los restantes elementos nutritivos en meq/l. es en P (como PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>) 1, en Ca 8, en Mg 4 y la de los oligoelementos en ppm es: Fe 5, Mn 0,55, Zn 0,065, Mo 0,05, Cu 0,065 y B 0,5. El pH de las soluciones nutritivas se ha ajustado a un valor de 5,6. La relación NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> es para todos los tratamientos 1:2.

La variedad de fresa estudiada es la cultivada en la Sierra de Francia, probablemente procedente de la «Madame Moutot».

La solución nutritiva se añade cada año, desde mediados de octubre a últimos de diciembre y desde el comienzo de la floración hasta la recolección del fruto, una o dos veces por semana según el ciclo vegetativo de la planta, a razón de 200 ml. por maceta. Una vez por semana se tratan con suficiente agua desionizada con objeto de eliminar el posible exceso de sales.

A mediados de diciembre se toman cinco plantas por tratamiento. Una vez lavadas minuciosamente, se separan sus partes: limbo, peciolo, raíz y corona.

### *Método*

La determinación del B se realiza por el método de la curcúmina (9).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Crecimiento de la planta*

En primer lugar se estudia el crecimiento de la planta en función del N y del K suministrado. Durante la época en que se realiza este estudio, al final del otoño, el crecimiento de la planta no se verá afectado por el proceso de la fructificación. Bien conocida es la relación antagonista que existe entre estos dos procesos fisiológicos.

El peso seco de las diferentes partes de la planta varía con los niveles de N y K en la solución nutritiva, aumentando si lo hace el K hasta un valor determinado, distinto según el nivel de N, a partir del cual el ritmo de crecimiento es inferior. En el limbo se aprecia además una disminución para los niveles más altos de K. En el caso del N, niveles altos producen aumentos en el peso de la hoja, mientras que el de la raíz y corona disminuyen.

Si se considera que el nivel crítico de un elemento referido al medio nutritivo es la mínima concentración que produce un crecimiento normal de la planta, según el gráfico 1, los tratamientos  $N_1K_1$ ,  $N_2K_1$ ,  $N_2K_2$ ,  $N_3K_1$  y  $N_3K_2$ , representarían tratamientos deficientes en K. De hecho las plantas correspondientes al tratamiento  $N_3K_1$  se han secado.

Expresado el peso de la planta en función de la relación N/K de la solución nutritiva (tabla I) se observa que, para cada nivel de N, al incrementar dicha relación hasta un valor igual a 6, el crecimiento de la planta permanece más o menos constante, mientras que disminuye para valores superiores. Así pues, parece que la relación N/K tiene cierta influencia en la absorción y metabolismo de nutrientes en la planta.

Bould (1) señala como niveles óptimos de N y de K 10 y 2 meq/l., respectivamente.



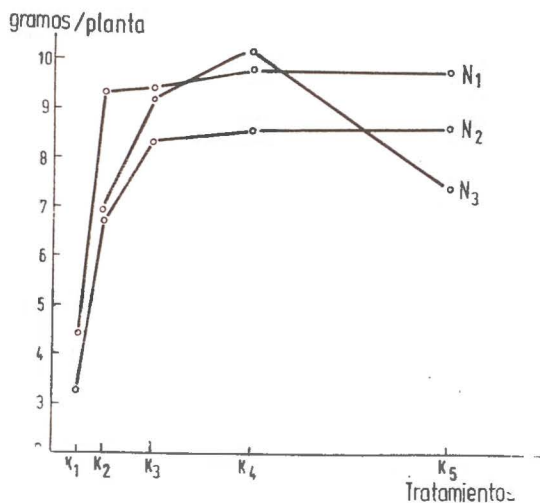


Gráfico 1.—Peso seco de la planta

TABLA I

*Peso seco de la planta*  
(g/planta)

Relación N/K	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
0.75	9.82		
1.5	9.82	8.65	
3	9.39	8.55	7.39
6	9.35	8.32	10.13
12	4.49	6.77	9.21
24		3.26	7.00

#### *Concentración en boro*

La concentración en B de las diferentes partes de la planta varía con los niveles de N y K de la solución nutritiva (tabla II). Para los tratamientos más deficientes en K se aprecia una mayor concentración de B en todas las partes de la planta, resultado que concuerda con los

obtenidos por Chapman (3), quien observa incluso síntomas de toxicidad. Al aumentar la concentración en K en general el contenido en B disminuye, de acuerdo con Wallace (13), Rajartnam (8), Ryding (10) y Tanaka (12). Este efecto se manifiesta en todas las partes de la planta, si bien un poco más acusado en el limbo. Tanto en el limbo como en el peciolo se observa además un máximo en el contenido en B para un nivel intermedio de K que varía con el nivel de N.

TABLA II

*Concentración de boro*

(ppm)

Tratamiento	Limbo	Peciolo	Raíz	Corona
$N_1 K_1$	571	174	109	53
$N_1 K_2$	676	184	96	51
$N_1 K_3$	662	181	95	48
$N_1 K_4$	550	153	80	41
$N_1 K_5$	458	130	71	39
$N_2 K_1$	869	175	152	76
$N_2 K_2$	650	161	122	54
$N_2 K_3$	793	193	126	53
$N_2 K_4$	650	132	107	57
$N_2 K_5$	562	147	85	56
$N_3 K_1$	—	—	—	—
$N_3 K_2$	499	105	101	49
$N_3 K_3$	388	85	66	40
$N_3 K_4$	462	95	70	45
$N_3 K_5$	603	109	95	52

En cuanto a la influencia de N se observa, para el nivel más alto, una disminución de la concentración en B de todas las partes de la planta, de acuerdo con Ljones (5), Bubdine (2), Peterson y Chapman (3), siendo más pronunciada esta disminución en la hoja. En este órgano la concentración varía de forma inversa al crecimiento, pudiendo, por tanto, tratarse de un fenómeno de dilución.

Si se expresa la concentración de B en función de la relación N/K de la solución (gráfico 2), se aprecia una evolución análoga, en especial en el limbo y en el peciolo, para todos los niveles de N. En algunos casos aislados se observan máximos para un valor de la relación N/K igual a 6.

Parece, pues, que existe una interacción N-K en el contenido en B de la planta. Bubbine (2) observa que si el N o el K se aplican separados incrementan los síntomas de deficiencia, pero juntos la severidad de la deficiencia es inferior.

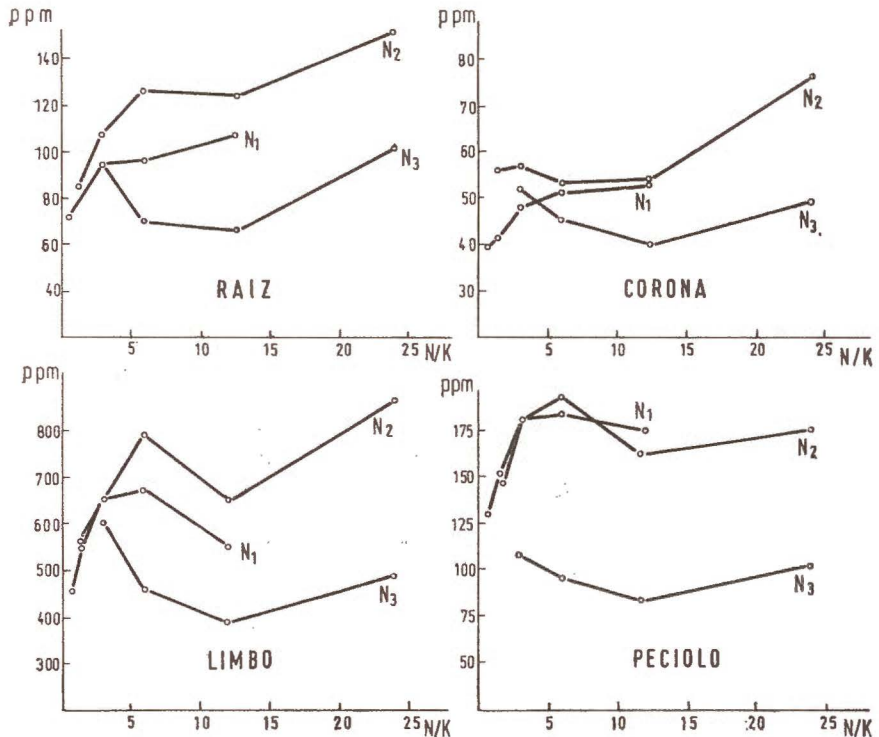


Gráfico 2 -Concentración de B en función de la relación N/K de la solución nutritiva B-ppm

Aunque no se han observado síntomas externos de la deficiencia en B, la relación Ca/B aumenta en todas las partes de la planta, para valores de la relación N/K inferiores a tres, lo cual podría significar el comienzo de la deficiencia a partir de esta relación N/K.

Los valores obtenidos para la concentración de B son superiores a los indicados por la bibliografía, pero están de acuerdo con las observaciones de Wallace (13), quien observa que con niveles similares de B y K de la solución, la absorción de B es superior en diciembre que en abril. Por otra parte, según Williams y Wlamis (14), durante el invierno las plantas toleran concentraciones más altas de B sin presentar síntomas de toxicidad.

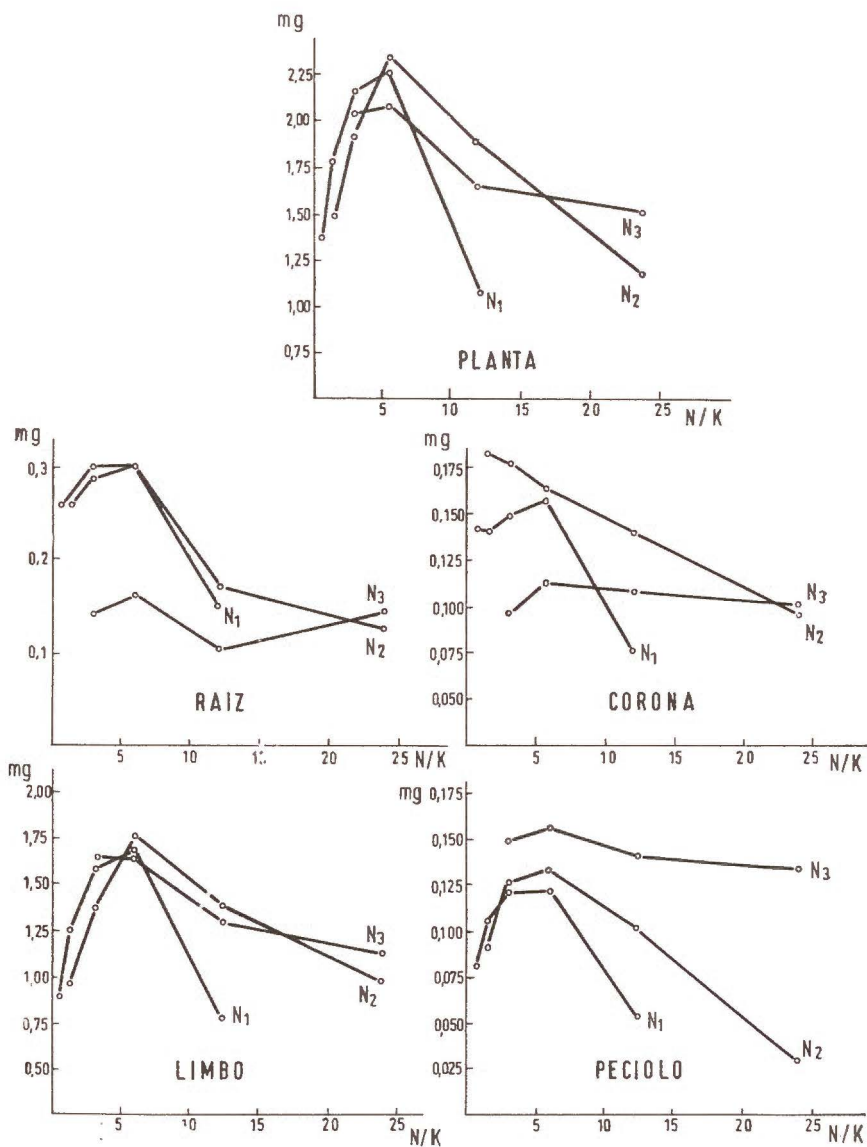


Gráfico 3.—B en mg. tomado por la planta en función de la relación N/K de la solución nutritiva



### *Absorción y distribución de boro*

Dentro de cada nivel de N, la absorción de B por la planta varía con los niveles de K de la solución nutritiva; mientras el K es deficiente la absorción de B aumenta con el K añadido, a partir de una concentración, que depende del nivel de N, la absorción de B disminuye.

Tal como se ha indicado al hablar de la concentración la cantidad total de B, de las diferentes partes de la planta, también varía con la relación N/K, de forma análoga para todos los niveles de N. La máxima acumulación de B por la planta tiene lugar cuando la relación N/K en la solución nutritiva alcanza un valor igual a 6 (gráfico 3). Según Swanback (11), la respuesta más alta a la aplicación de B ocurre cuando es mejor el equilibrio fisiológico, probablemente en nuestro experimento tenga lugar cuando la relación N/K sea igual a 6.

La distribución de boro en la planta durante el otoño es por término medio la siguiente: 75 por 100 en el limbo, 6 por 100 en el peciolo, 11 por 100 en la raíz y 8 por 100 en la corona; debido a la baja movilidad del B se acumula principalmente en la hoja. No se observa una influencia marcada del N y del K en la distribución del B en la planta. No obstante para las concentraciones más altas de K el porcentaje del B acumulado en la hoja disminuye y el de la raíz aumenta. Por el contrario, para el nivel más alto de N el de la hoja aumenta y el de la raíz disminuye.

En este experimento la concentración de B es suficiente para el normal crecimiento de la planta. Sin embargo, puede no ser así en la región de la Sierra de Francia, dadas las características peculiares de esta región: lluvia más bien abundante y suelos ácidos de fuerte drenaje. Por otra parte, al ser los suelos con cierta frecuencia altos en K, cabe la posibilidad de disminuciones en el rendimiento por deficiencia de B. Se sugiere, por tanto, la conveniencia de estudiar el B en los suelos y en la fresa de la Sierra de Francia.

### *Agradecimiento*

Los autores agradecen al Dr. Sánchez de la Puente las orientaciones recibidas durante la realización de este trabajo.

### RESUMEN

Se estudia la influencia del N y del K en el contenido en B de la planta de fresa, observándose que la concentración de B en las diferentes partes de la planta varía con los niveles de N y de K en la solución nutritiva, disminuyendo, en general, al aumentar dichos niveles.

Parece existir una interacción N-K en el contenido en B de la planta. Tanto la concentración como la cantidad total de B en cada una de las partes de la planta varía, con la relación N/K de la solución nutritiva de forma análoga para todos los niveles de N. La máxima acumulación de B por la planta tiene lugar cuando la relación N/K es igual a 6.

Aunque no se han observado síntomas externos de deficiencia en B, la relación Ca/B aumenta en todas las partes de la planta para valores de la relación N/K inferiores a 3, lo cual podría significar el comienzo de la deficiencia a partir de esta relación N/K.

La posibilidad de disminuciones del rendimiento en la planta de fresa de la Sierra de Francia, por deficiencia de B, dadas las características peculiares de esta región, sugiere la conveniencia de estudiar dicho elemento en los suelos y en la fresa de la Sierra de Francia.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) BOULD, C. 1954. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops. V. Sand Culture N, P, K, Mg. Experiments with strawberry (*Fragaria* Spp.), J. Sci. Fd. Agric., 15, 474-487.
- (2) BUBDINE, H. W. y GUZMÁN, V. L. 1969. Nutritional factors affecting nodal cracking of some celerycultivars. Proc. Soil Crop. Sci. Soc. Fla., 29, 351-352, Ref. Soils Fert., 1971, 34, 459.
- (3) CHAPMAN, H. D., LIEBIG, G. F. y WANSELOW, A. P. 1939. Some nutritional relationships as revealed by a study of mineral deficiency and excess symptoms on citrus. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4, 196-200.
- (4) ELDRON, R. y SHIVE, J. W. 1944. K-B y Ca-B Relationship in plant Nutrition, Soil Sci., 57, 1-14.
- (5) LJONES, B. 1967. Nitrogen effects on composition and yield components of raspberry cultivars, Mel Norg. Landbrhogsk, 46, 1-19, Ref. Hort. Abs., 1968, 38, 365.
- (6) NELYUBOVA, G. L. y MULHA, N. A. 1972. Uptake of boron and nitrogen by sunflower as a function of their level in the medium. Dokl. Tskha (Timiryasev sel' skokhoz Akad.), 176, 145-149, Ref. C. A., 1973, 78, 158-318.
- (7) PETERSON, L. A., DOLAR, S. G. y CHESTERS, G. 1969. Effect of N, P and K fertilization on the mineral composition of tobacco, Soil Sci., Soc. Amer. Proc., 33, 560-563.
- (8) RAJARATNAM, J. A. 1973. Application, absorption of boron in oil palm. II. Age of palm frequency of application and influence of nitrogen and potassium. Exp. Agr., 9, 141-145. Ref. C. A., 1973, 79, 104200.
- (9) ROSÓN Riestra, J. A., MARTÍN DEL MOLINO, I., SANCHO URSA, J. Determinación del boro en la planta de fresa. An. Edaf. Agrobiol., XXXIV, 1011-1020.
- (10) RYDING, W. W. 1966. Influence of potassium on boron uptaks by flus cured tobacco, Rhd Zambia Malawi. J. Agric. Res., 1, 51-52, Ref. Soil Fert., 1966, 29, 498-499.
- (11) SWANBACK, T. R. 1946. Possible role of boron in tobacco fertilization. Soil Sci., 62, 137-149.
- (12) TANAKA, H. 1967. Boron absorption by crop plants as affected by other nutrients of the medium. Soil Sci. Pl. Nutr., 15, 41-44.
- (13) WALLACE, A. y BEAR, F. E. 1949. Influence of potassium and boron on nutrient-element balance in and growth of ranger alfalfa. Plant. Physiol., 24, 664-678.
- (14) WILLIAMS, D. y VLAMIS, J. 1957. Manganese and boron toxicities in standard culture solution. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21, 205-209.

Recibido para publicación: 15-IV-75



# COMPARACION DE HORMONAS, MARCOS DE PLANTACION Y VARIEDADES DE TOMATE EN CULTIVO BAJO INVERNADERO

por

J. CUARTERO y M. BAGUENA

## SUMMARY

### A COMPARISON OF HORMONES, PLANT DENSITY AND TOMATO VARIETIES UNDER GREENHOUSE CULTURE

A trial of cultural techniques in tomato grown under polyethylene greenhouse was carried out in the Oriental Coast of Málaga. 3 population densities with 3, 4 and 5 plants/m<sup>2</sup>, 3 types of artificial set, mechanical vibrator, and  $\beta$ -naphthoxyacetic acid (hormone) in two different periods of time; and 4 varieties, H-11, VS-3, M-1 and Super Early Pak F<sub>1</sub> were tried.

5 plants/m<sup>2</sup> when hormone is used during all flower period and 4 plants/m<sup>2</sup> when hormone is used during the first 4, 5 weeks of flowering were the best combinations.

Mechanical vibrator of clusters as a setting method seems not to be an interesting practice in the conditions of this trial.

The best variety was H-11 followed by M-1 and VS-3. Super-Early Pak F<sub>1</sub> does not seem to be interesting in tomato early plantings under polyethylene greenhouses.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de toda la costa sur de España, en las provincias de Almería, Granada y Málaga, ha tomado gran auge el cultivo de hortalizas bajo invernaderos con cubierta de plástico (polietileno en la mayoría de los casos).

Este desarrollo ha venido impulsado por los mayores beneficios que obtenía el agricultor debido a la mayor precocidad y rendimiento en los cultivos bajo plástico sobre los del aire libre.

Cuando llegó este nuevo sistema de cultivo en invernaderos, el agricultor introdujo en ellos los cultivos que él conocía y continuó aplicándoles los métodos de cultivo que usaba al aire libre.

Hoy día para que un invernadero resulte rentable es necesario aplicarle una adecuada técnica de cultivo y tanto como se mejore ésta



tanto más se extenderán aquellos por nuevas zonas, ahora marginales. Por esto es necesaria una revisión e investigación de los métodos de cultivo en invernadero.

En este trabajo hemos elegido dos variables culturales: marco de plantación y uso de hormonas, y las hemos experimentado en cuatro variedades distintas.

El marco de plantación más usual en plantaciones regulares de tomate bajo invernadero es el mismo que en plantaciones al aire libre: 1,1 m. entre líneas y 0,35-0,40 entre plantas. Basados en nuestra anterior experiencia del cultivo en invernadero hemos intentado plantaciones más densas tratando de conseguir 3, 4 y 5 plantas/m<sup>2</sup>.

El uso de hormonas que aseguran el cuajado en períodos fríos es general en la zona en el cultivo del tomate. Esta práctica tiene su base fisiológica, pues el tomate según Ivette et C. Costes sigue vegetando a temperaturas relativamente bajas, en cambio el polen no es viable a menos de 10° C. Por tanto cuando existan temperaturas mínimas inferiores a 10° C no se produciría fecundación.

Quizá en nuestras condiciones el polen sigue siendo viable a temperaturas algo menores de 10° C, pero sí que necesita mínimas superiores a 8° C.

El gráfico 1 expresa las temperaturas habidas en el invernadero donde se realizó la experiencia.

En la presente experiencia hemos comparado con el sistema de tratamiento hormonal tradicional el uso de un vibrador de racimos y el tratamiento hormonal sólo en las fechas con temperaturas más bajas.

Estas dos variables culturales las hemos cruzado con cuatro variedades para poder detectar posibles interacciones entre variedades y marcos de plantación o entre variedades y método artificial de cuajado de fruto.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se han usado en la presente experiencia una variedad y tres híbridos de tomate; de ellos la variedad VS-3, y el híbrido H-11, son de amplio uso en la zona; Super Early Pak F<sub>1</sub> es un híbrido de nueva introducción y M-1 es un híbrido creado por nosotros en la Estación Experimental «La Mayor».

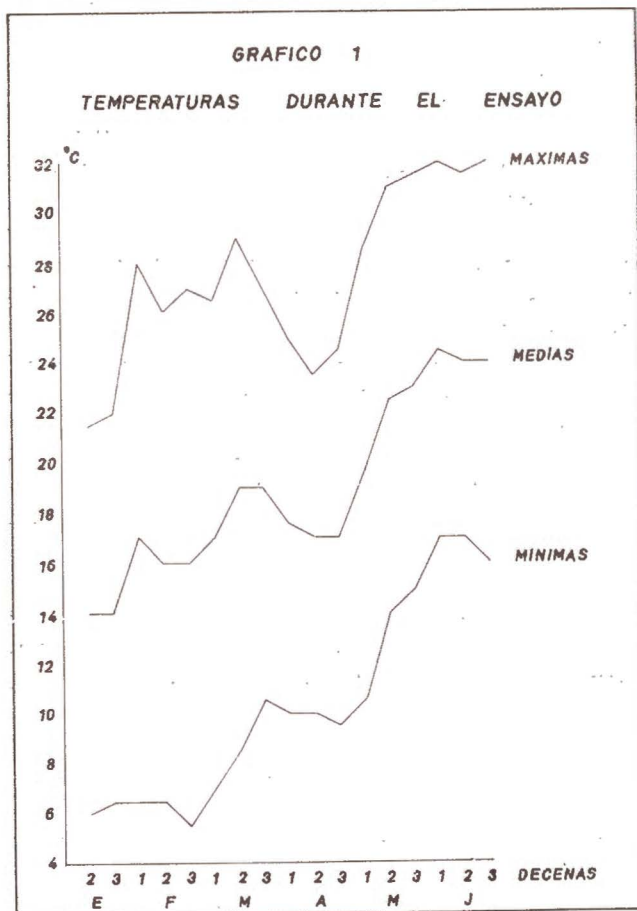
La variedad VS-3 es de crecimiento indeterminado, buen porte, racimos con 3-5 tomates de muy buena calidad con un bonito color verde.

El híbrido H-11 es de crecimiento determinado o semideterminado de menor porte que el anterior, con racimos de 5-7 tomates de buen tamaño, de color más bien verde amarillento cuando inmaduros.

Super Early Pak F<sub>1</sub> es un híbrido de crecimiento indeterminado, con un porte excesivo para invernadero, con racimos de tomate de tamaño desigual y coloración verde amarillenta.

M-1 es un híbrido de crecimiento determinado, porte medio, racimos con 5-6 tomates de coloración verde amarillenta.

Para determinar la densidad de plantación partimos como base de que la distancia mínima entre líneas que permite el paso para recogida, tratamientos, etc., en cultivo de tomate en invernadero son 90 cms. Por eso, para conseguir densidades de plantación 3, 4 y 5 plantas/m<sup>2</sup> fue necesario poner las plantas dentro de la línea a 37, 28 y 22 cms., respectivamente.



Con respecto al cuajado artificial, tercer factor en esta experiencia, se usó un medio mecánico, vibrador a pilas, y un medio químico, ácido  $\beta$ -naftoxiacético, con dos tiempos diferentes de aplicación.

El vibrador se aplicó al raquis del racimo floral durante tres-cuatro segundos. Se hacía la vibración una vez por semana, vibrándose el racimo durante las semanas que presentase flores sin cuajar (aproximadamente dos-tres veces).

La hormona usada en el cuajado químico fue ácido  $\beta$ -naftoxiacético en la forma comercial denominada Tomato-set. Esta hormona se aplicó en un tratamiento según la costumbre de la zona desde el 11 de febrero, fecha que empezó la floración hasta el 20 de mayo, también al ritmo de un tratamiento semanal. El otro tratamiento químico se realizó con la misma hormona, pero se dejó de aplicar el 18 de marzo.

Se pretendía con respecto al cuajado artificial la comparación de un medio mecánico (vibrador) con el tradicional (uso de hormona a todo lo largo de la floración) y a la vez se reducía el tiempo de aplicación hormonal cuando en el invernadero se empezaban a tener temperaturas relativamente altas.

El cultivo se realizó bajo invernadero de polietileno, siendo las fechas más significativas las siguientes: plantación, el 20 de diciembre; comienzo de floración, 10 de febrero; comienzo de recolección, 13 de abril, y fin de la recolección, 21 de junio.

El diseño estadístico empleado fue un factorial triple de 36 parcelas (3 marcos de plantación  $\times$  3 tipos de cuajado artificial  $\times$  4 variedades). Cada parcela constaba de 7 m<sup>2</sup>, teniendo 21, 28 ó 35 plantas dependiendo del marco de plantación.

En la recolección se pesó el tomate total y el comercializable, distinguiéndose además entre cosecha total y precoz. Esta última la constituyó la recolección habida en el primer mes de cosecha.

Como cosecha comercial se entienden los tomates de un tamaño superior a 150 grs. y sin defectos en su constitución.

Los datos se expresan en Kg/parcela, se estudiaron por medio del análisis de la varianza y la realización de las comparaciones individuales se ha efectuado según el método de Duncan.

Cuando nos referimos al conjunto de los tres híbridos y la variedad estudiada lo haremos como «Variedades», aunque esta palabra sólo se adapte específicamente a uno de los cuatro tipos.

## RESULTADOS

Para mayor comodidad en el estudio de los datos siguientes usaremos estas abreviaturas:

M = marco, siendo:

M<sub>1</sub> = Marco de plantación correspondiente a 3 plantas/m<sup>2</sup>.

M<sub>2</sub> = Marco de plantación correspondiente a 4 plantas/m<sup>2</sup>.

M<sub>3</sub> = Marco de plantación correspondiente a 5 plantas/m<sup>2</sup>.

T = Tratamientos, siendo:

T<sub>1</sub> = Uso del vibrador mecánico.

T<sub>2</sub> = Uso tradicional de hormona.

T<sub>3</sub> = Uso de hormona hasta el 18 de marzo.



V = Variedades, siendo:

V<sub>1</sub> = VS-3.

V<sub>2</sub> = M-1.

V<sub>3</sub> = Super Early Pak F<sub>1</sub>.

V<sub>4</sub> = H-11.

Estudiaremos por separado las mediciones efectuadas en cosecha precoz, cosecha precoz comercial, cosecha total y cosecha total comercial.

*Cosecha precoz*

El correspondiente análisis de la varianza reveló diferencias significativas al nivel 1 por 100 entre las variables principales, marcos, tratamientos y variedades, así como en la interacción tratamientos × marcos. El coeficiente de variación fue de 12,5 por 100.

— Interacción tratamientos × marcos.

Las diferencias significativas fueron:

Nivel 5 % = 5,036 5,281 5,445 5,494 5,559 5,592 5,624 5,624.

Nivel 1 % = 7,063 7,439 7,652 7,783 7,913 8,044 8,110 8,208.

Los datos ordenados relativos a la producción de la interacción se dan en la tabla I.

TABLA I

*Diferencias en la interacción tratamientos × marcos en cosecha precoz*

Variables	Kg.	M <sub>1</sub> x T <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> x T <sub>3</sub>	M <sub>3</sub> x T <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> x T <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> x T <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> x T <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> x T <sub>3</sub>	M <sub>3</sub> x T <sub>2</sub>
M <sub>3</sub> x T <sub>2</sub>	42,578	26,995	22,760	20,183	19,133	18,303	18,280	12,620	8,223
		++	++	++	++	++	++	++	++
M <sub>2</sub> x T <sub>2</sub>	34,355	18,772	14,537	11,960	10,910	10,080	9,757	4,397	—
		++	++	++	++	++	++		
M <sub>2</sub> x T <sub>3</sub>	29,958	14,375	10,140	7,563	6,513	5,683	5,360	—	
		++	++	+	+	+	+		
M <sub>2</sub> x T <sub>1</sub>	24,598	9,015	4,780	2,203	1,153	0,823	—		
		++							
M <sub>1</sub> x T <sub>3</sub>	24,275	8,692	4,457	1,880	0,830	—			
		++							
M <sub>1</sub> x T <sub>2</sub>	23,445	7,862	3,627	1,050	—				
		++							
M <sub>3</sub> x T <sub>1</sub>	22,395	6,812	2,477	—					
		+							
M <sub>3</sub> x T <sub>3</sub>	19,818	4,235	—						
M <sub>1</sub> x T <sub>1</sub>	15,583	—							

++ Diferencias significativas al nivel 1 %.

+ Diferencias significativas al nivel 5 %.



La combinación 5 plantas/m<sup>2</sup> y uso tradicional de hormona fue muy significativamente superior a cualquier otra combinación. También fueron buenas combinaciones 4 plantas/m<sup>2</sup> y uso de hormona solamente en período frío. Las restantes combinaciones carecen de interés.

### Marcos

Las producciones y sus diferencias fueron:

	Kg.		
M <sub>2</sub>	29,637	8,536 ++	1,374
M <sub>3</sub>	28,263	7,162 +	
M <sub>1</sub>	21,101		

Así pues no podemos detectar diferencias entre 4 y 5 plantas/m<sup>2</sup>, siendo 3 plantas/m<sup>2</sup> claramente inferior a las anteriores combinaciones.

### Tratamientos

Las producciones y sus diferencias fueron:

	Kg.		
T <sub>2</sub>	33,459	12,601 ++	8,776 ++
T <sub>3</sub>	24,683	3,825	
T <sub>1</sub>	20,858		

El uso tradicional de hormona se reveló mejor práctica que las otras dos ensayadas.

### Variedades

En cosecha precoz las diferencias significativas fueron:

Nivel 5 % = 3,357 3,521 3,630.

Nivel 1 % = 4,709 4,960 5,101.

y las producciones y sus diferencias:

	Kg.		
V <sub>4</sub>	34,066	14,794 ++	9,253 ++
V <sub>2</sub>	27,183	7,911 ++	2,370
V <sub>1</sub>	24,813	5,641 ++	
V <sub>3</sub>	19,272		

H-11 fue superior al resto de las variedades ensayadas.  
 M-1 y VS-3 no diferían entre ellos y también fueron superiores a Super Early Pak F<sub>1</sub>.

*Cosecha precoz comercial*

El análisis de la varianza mostró diferencias significativas al nivel 1 por 100 para marcos, tratamientos, variedades y para la interacción tratamientos × marcos. El coeficiente de variación fue 17,5 por 100.

— Interacción tratamientos × marcos.

Las diferencias significativas siguiendo el método de Duncan fueron:

Nivel 5 % = 5,261 5,517 5,688 5,739 5,807 5,841 5,876 5,876

Nivel 1 % = 7,379 7,771 7,993 8,130 8,267 8,403 8,472 8,574

Las producciones así como sus diferencias y el grado de significación se dan en la tabla II.

TABLA II

*Diferencias en la interacción tratamientos × marcos en cosecha precoz comercial*

Variables	Kg.	M <sub>1</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>3</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>3</sub> × T <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>3</sub>
M <sub>3</sub> × T <sub>2</sub>	35,425	24,662	22,802	22,102	21,385	18,412	16,442	12,452	5,382
		++	++	++	++	++	++	++	+
M <sub>2</sub> × T <sub>2</sub>	30,043	19,280	17,420	16,720	16,003	13,030	11,060	7,070	—
		++	++	++	++	++	++	+	
M <sub>2</sub> × T <sub>3</sub>	22,973	12,210	10,350	9,650	8,933	5,960	3,990	—	
		++	++	++	++	++	+		
M <sub>1</sub> × T <sub>3</sub>	18,983	8,220	6,360	5,660	4,943	1,970	—		
		+	+						
M <sub>1</sub> × T <sub>2</sub>	17,013	6,250	4,390	3,690	2,973	—			
		+							
M <sub>3</sub> × T <sub>3</sub>	14,040	3,277	1,417	0,717	—				
M <sub>2</sub> × T <sub>1</sub>	13,323	2,560	0,700	—					
M <sub>3</sub> × T <sub>1</sub>	12,623	1,860	—						
M <sub>1</sub> × T <sub>1</sub>	10,763	—							

Las combinaciones mejores fueron las mismas que en cosecha precoz, de mayor a menor 5 plantas/m<sup>2</sup> y 4 plantas/m<sup>2</sup> con uso tradicional de hormona, y 4 plantas/m<sup>2</sup> y uso de hormona en tiempo frío.

En esta comparación hemos de hacer la salvedad de 4 plantas/m<sup>2</sup> y

uso de vibrador que debido a su gran proporción de tomate pequeño ha pasado a ocupar un puesto de poca importancia.

### Marcos

Las producciones y sus diferencias fueron:

	Kg.		
M <sub>2</sub>	22,113	6,545 +	1,417
M <sub>3</sub>	20,696	5,128	
M <sub>1</sub>	15,568		

4 y 5 plantas/m<sup>2</sup> siguen siendo las mejores combinaciones, aunque no haya diferencias al nivel 5 por 100 entre 3 y 5 plantas/m<sup>2</sup>.

Los porcentajes de desecho entre cosecha precoz y cosecha precoz comercial fueron bastante uniformes para marcos:

M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
26 %	25 %	26 %

### Tratamientos

Las producciones y sus diferencias fueron:

	Kg.		
T <sub>2</sub>	27,493	15,257 ++	8,828 +
T <sub>3</sub>	18,665	6,429 +	
T <sub>1</sub>	12,236		

En este caso las diferencias fueron más acusadas que en cosecha precoz, debido al pequeño porcentaje de desecho en el tratamiento uso tradicional de hormonas. Damos a continuación los porcentajes de desecho para tratamientos entre cosechas precoz y cosecha precoz comercial.

T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
41 %	17 %	24 %

### Variedades

Las diferencias significativas siguiendo el test de Duncan fueron:

Nivel 5 % = 3,508 3,679 3,793.

Nivel 1 % = 4,920 5,182 5,331.

Y las producciones :

	Kg.			
V <sub>4</sub>	26,127	12,899 ++	7,186 ++	0,564 ++
V <sub>2</sub>	19,563	6,335 ++	0,622	
V <sub>1</sub>	18,941	5,713 ++		
V <sub>3</sub>	13,228			

H-11 sigue siendo la variedad más productiva, siendo muy parecidas en lo que a producción se refiere VS-3 y M-1.

Los porcentajes de desecho por variedades fueron :

V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
23 %	28 %	31 %	23 %

Es interesante notar que la variedad más productiva es la de menor desecho y la menos productiva la de mayor cantidad de tomate no comercializable.

### *Cosecha total*

El análisis de la varianza mostró diferencias significativas en las mismas fuentes de variación que en los estudios de cosecha precoz. Fueron: marcos, tratamientos, variedades e interacción tratamiento × marcos. El coeficiente de variación del análisis fue 11,9 por 100.

— Interacción tratamientos × marcos.

Siguiendo el método de Duncan resultaron las siguientes diferencias significativas:

Nivel 5 % = 9,425 9,884 10,190 10,282 10,404 10,465 10,526 10,526.

Nivel 1 % = 13,219 13,923 14,321 14,556 14,810 15,055 15,178 15,361.

Las producciones totales para la interacción, así como sus diferencias significativas, se dan en la tabla III.



TABLA III

*Diferencias en la interacción tratamientos × marcos en cosecha total*

Variabls	Kg	M <sub>1</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>2</sub>	M <sub>3</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>3</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>2</sub>
M <sub>3</sub> × T <sub>2</sub>	72,370	36,392	28,872	28,810	26,050	25,415	23,477	13,222	5,087
		++	++	++	++	++	++	+	
M <sub>2</sub> × T <sub>2</sub>	67,283	31,305	23,785	23,723	20,963	20,328	18,390	8,135	—
		++	++	++	++	++	++		
M <sub>2</sub> × T <sub>3</sub>	59,148	23,170	15,650	15,588	12,828	12,193	10,255	—	
		++	++	++	+	+	+		
M <sub>1</sub> × T <sub>3</sub>	48,893	12,915	5,395	5,333	2,573	1,738	—		
		+							
M <sub>3</sub> × T <sub>3</sub>	46,955	10,977	3,457	3,395	0,635	—			
		+							
M <sub>2</sub> × T <sub>1</sub>	46,320	10,342	2,822	2,760	—				
		+							
M <sub>3</sub> × T <sub>1</sub>	43,560	7,582	0,062	—					
M <sub>1</sub> × T <sub>2</sub>	43,498	7,520	—						
M <sub>1</sub> × T <sub>1</sub>	35,978	—							

Uso tradicional de hormona con 5 y 4 plantas/m<sup>2</sup>, y 4 plantas/m<sup>2</sup> con uso de hormona en tiempo frío siguen siendo las mejores combinaciones.

*Marcos*

Las medias de producción fueron:

	Kg.		
M <sub>2</sub>	57,583	14,794 +	3,288
M <sub>3</sub>	54,295	11,506 +	
M <sub>1</sub>	42,789		

4 y 5 plantas/m<sup>2</sup> son las mejores densidades de plantación.

*Tratamientos*

Las medias de producción fueron:

	Kg.		
T <sub>2</sub>	61,050	19,097 ++	9,712
T <sub>3</sub>	51,665	9,885	
T <sub>1</sub>	41,953		

El tratamiento más productivo fue uso tradicional de hormona, aunque sin diferencias con uso de hormonas en tiempo frío.

*Variedades*

Las diferencias significativas fueron:

Nivel 5 % = 6,283 6,589 6,793.

Nivel 1 % = 8,813 9,282 9,547.

Y las producciones medias por variedad:

	Kg.		
V <sub>4</sub>	62,128	20,687 ++	11,608 ++ 9,994 ++
V <sub>1</sub>	52,134	10,693 ++	1,614
V <sub>2</sub>	50,520	9,079 ++	
V <sub>3</sub>	41,441		

Se sigue manteniendo el orden relativo que se observó en cosecha precoz.

*Cosecha total comercial*

El análisis de la varianza reveló diferencias significativas al nivel .1 por 100 en marcos, tratamientos, variedades e interacción marcos × × tratamientos. El coeficiente de variación fue aquí algo elevado, 21 por 100, debido posiblemente a las diferencias en tomate de pequeño tamaño que producen las plantas en sus últimos racimos.

— Interacción marcos × tratamientos.

Las diferencias significativas fueron:

Nivel 5 % = 12,246 12,842 13,240 13,359 13,518 13,598 13,677 13,677.

Nivel 1 % = 17,176 18,091 18,608 18,926 19,244 19,562 19,721 19,960.

Las producciones de la interacción y sus diferencias, así como su nivel de significación se dan en la tabla IV.

TABLA IV

*Diferencias en la interacción tratamientos × marcos en cosecha total comercializable*

Variables	Kg.	M <sub>2</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>3</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>2</sub>	M <sub>3</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>1</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> × T <sub>2</sub>
M <sub>3</sub> × T <sub>2</sub>	59,960	35,945	35,527	35,497	29,375	25,488	22,267	14,745	0,728
		++	++	++	++	++	++	+	
M <sub>2</sub> × T <sub>2</sub>	59,098	35,217	34,799	34,769	28,647	24,760	21,539	14,017	—
		++	++	++	++	++	++	+	
M <sub>2</sub> × T <sub>3</sub>	45,215	21,200	20,782	20,752	14,630	10,743	7,522	—	
		++	++	++	+				
M <sub>1</sub> × T <sub>3</sub>	37,693	13,678	13,260	13,230	7,108	3,221	—		
		+							
M <sub>3</sub> × T <sub>3</sub>	34,472	10,457	10,039	10,009	4,887	—			
M <sub>1</sub> × T <sub>2</sub>	30,585	5,570	5,152	4,887	—				
M <sub>1</sub> × T <sub>1</sub>	24,463	0,448	0,030	—					
M <sub>3</sub> × T <sub>1</sub>	24,433	0,418	—						
M <sub>2</sub> × T <sub>1</sub>	24,015	—							

5 y 4 plantas/m<sup>2</sup> con uso tradicional de hormona son las mejores combinaciones. El vibrador parece tener más bien un efecto perjudicial.

### Marcos

Medias de producción:

	Kg.		
M <sub>2</sub>	42,821	11,908	3,199
M <sub>3</sub>	39,622	8,709	
M <sub>1</sub>	30,913		

No existen diferencias significativas entre marcos; las que reveló el análisis de la varianza eran debidas a la interacción tratamientos × marcos.

Tampoco existen diferencias entre los desechos producidos por los tres tipos de marco, fueron:

$$M_1 = 27 \% \quad M_2 = 26 \% \quad M_3 = 27 \%$$

*Tratamientos*

Medias de producción:

	Kg.			
T <sub>2</sub>	40,926	25,623	++	10,799
T <sub>3</sub>	39,127	14,824	+	
T <sub>1</sub>	24,303			

Así pues no hay diferencias significativas al nivel 5 por 100 entre uso tradicional de hormona y uso de hormona solamente en el período más frío. El vibrador no se muestra como una práctica conveniente.

El desecho obtenido entre cosecha total y cosecha total comercial referido a tratamiento fue:

$$T_1 = 42 \% \quad T_2 = 18 \% \quad T_3 = 24 \%$$

*Variedades*

Las diferencias significativas mínimas fueron:

$$\text{Nivel } 5 \% = 8,162 \quad 8,559 \quad 8,824.$$

$$\text{Nivel } 1 \% = 11,448 \quad 12,057 \quad 12,402.$$

y las medias de producción por variedades:

	Kg.			
V <sub>4</sub>	48,378	21,661	++	11,854 + 8,856 +
V <sub>1</sub>	39,522	12,805	++	2,998
V <sub>3</sub>	36,524	9,807	+	
V <sub>3</sub>	20,717			

La variedad mejor fue H-11 y la peor Super Early Pak F<sub>1</sub>, resultando VS-3 y M-1 sin diferencias.

En porcentaje de desecho siguen el mismo orden relativo que en cosecha precoz.

$$V_1 = 24 \% \quad V_2 = 27 \% \quad V_3 = 36 \% \quad V_4 = 22 \%$$



## CONCLUSIONES

1. *Marcos*

De los tres marcos de plantación ensayados, 4 plantas/m<sup>2</sup> parece ser el más adecuado tanto para producción precoz como para producción total, pero dadas las interacciones existentes es más exacto recomendar 5 plantas/m<sup>2</sup> cuando se use hormona durante la mayor parte de la floración y 4 plantas/m<sup>2</sup> cuando sólo usemos hormona en período frío.

2. *Tratamientos*

Para conseguir mayor producción parece ser que lo mejor es el uso de hormona a lo largo de todo el período de floración. Por otra parte, la hormona además de tener el efecto del cuajado de las flores influye en el tamaño de los frutos como parece demostrarlo las notables diferencias observadas en los porcentajes de desecho entre uso tradicional de hormona y uso de hormona en período frío.

La decisión de si el uso de la hormona se debe hacer durante el período frío o durante todo el período de floración es un asunto exclusivamente económico que dependerá de la mano de obra disponible en la explotación y de su precio.

En explotaciones no familiares con mano de obra alquilada se puede recomendar tratar con hormona solamente hasta fin de marzo (en el sur de Andalucía) que es cuando las temperaturas mínimas serán probablemente superiores a 10° C. (Ver gráfico de temperaturas.)

El uso del vibrador en las condiciones de los invernaderos con cubierta de polietileno del sur de España y con las variedades ensayadas parece poco recomendable.

3. *Variedades*

El híbrido H-11 ha sido el más productivo de las variedades ensayadas, confirmando así el por qué de su amplio uso. De cualquier modo la recomendación de uno u otro híbrido es peligrosa a largo o, incluso, medio plazo, por la gran cantidad de híbridos que salen al mercado anualmente y que, indudablemente, llegarán a superar al H-11.

## RESUMEN

En la Costa Oriental de Málaga se ha realizado un ensayo de técnicas culturales en tomate cultivado en invernadero de polietileno. Se probaron 3 marcos de plantación con 3, 4 y 5 plantas/m<sup>2</sup>, 3 tipos de cuajado artificial, vibrador mecánico y ácido  $\beta$ -

naftoxiacético (hormona) en dos tiempos diferentes y 4 variedades H-11, VS-3, M-1 y Super Early Pak F<sub>1</sub>.

De los 3 marcos de plantación resultaron mejor 5 plants/m<sup>2</sup> cuando se usa hormona a lo largo de toda la floración y 4 plantas/m<sup>2</sup> si sólo se usa hormona en los primeros cuarenta y cinco días de floración.

El uso de vibrador mecánico de racimos como métodos de cuajado artificial no parece una práctica interesante en las condiciones del ensayo.

De las variedades ensayadas resultó la mejor el híbrido H-11 seguido de M-1 y VS-3. Super Early Pak F<sub>1</sub> no parece interesante en plantaciones tempranas de tomate bajo invernadero de polietileno.

*Estación Experimental «La Mayora». Málaga.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- AMSEN, M. G. and NIELS BREDMOSE. 1971. The influence of plant density on the yield and quality of the tomato. Tidsskr. Planteavl., 75 (4), 457-465.
- IVETTE REY et C. COSTES. 1965. La physiologie de la tomate, C. N. R. A.
- NAVARRO A. A., and LOCASIO, S. J. 1972. Influence of population density, row arrangement and fertilizer rate on the singleharvest yield of freshmarket tomatoes. Proc. Flo. Staté. Hort. Soc., 84, 129-131.
- RIVOIRA, G., DEIDDA, M. 1969. L'impiego del «vibratore» quale mezzo per favoire l'allegagione nel pomodoro. Ortoflorofructticultura Ital., 53, 1, 82-91.
- ROBINSON, R. W., WILCZYNSKS M., DENNIS jr. F. G., and BRYAN, H. H. 1968. Chemical promotion of tomato fruit ripening. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 93, 823-830.
- TESTI, R., FERLICCA, A. 1969. Risultati dei trattamenti per ottenere l'allegagione in «Lycopersicum esculentum» in coltura protetta. Frutticoltura, 31-4, 257-261.
- VELIAIH, J. A. and FERGUSON, A. C. 1972. The effect of deblossoming on fruit size, yield and earlyness in tomato. Hortfl Science, vl. 7 (3), 278-279.

Recibido para publicación: 15-IV-75



# COMPROBACION DEL METODO DE «VARIANTES SISTEMATICAS» PARA UNA INTERACCION BINARIA

por

J. L. MARTIN POLO

## SUMMARY

### CONFIRMATION OF THE METHOD OF «SISTEMATIC VARIANTS» FOR A BINARY INTERACTION

The purpose of the present work is to make a comparative study in the hope of proving the value of the «Sistematic Variants» method of the calculation of the optima ratios of fertilization using different quantities of fertilizers. Two ways of resolving the method are used, algebraic and geometric. The results obtained are compared with those obtained through «Balanced Nutrition», using the equations:

$$q; \quad y = ax^2 + bx + c$$
$$u_2; \quad y = \frac{(x + m)(1 - x + n)}{ax^2 + bx + c}$$

The differences between the calculations obtained with the geometric form are not significant (neither in optima ratios nor in production); on the other hand those obtained from the algebraic method are significant. This last method is not acceptable for calculation under experimental conditions with three types of soil studied.

The work has been carried out in pots in controled glass-house conditions, with the gramineous *Lolium italicum* «Tactoe». The variables N and P are studied in three different soils.

## INTRODUCCIÓN

Estudiando la teoría de la alimentación equilibrada de la planta, los profesores Homes y Van Schoor proponen el método de «Variantes Sistemáticas» (3) (4) (5) (6). Dicho método tiene como fin, partiendo del conocimiento probable de la curva experimental (o lo que es lo mismo, partiendo del conocimiento del método de alimentación equilibrada) de una interacción binaria, encontrar la abcisa del máximo de la curva, es decir el óptimo físico, a partir de dos puntos de dicha curva.



Hay dos maneras de abordar esta cuestión; por una resolución geométrica y por una resolución algebraica.

En la primera, la demostración está basada en triángulos semejantes. No es oportuno hacer aquí una exposición detallada del desarrollo que utilizan los autores en la demostración, por lo que remitimos al trabajo (3). Sin embargo, queremos resaltar que dicha demostración se efectúa a partir de puntos simétricos y asimétricos, llegando a resultados más contundentes con los primeros. Así como también que la mayor exactitud de la proporción óptima entre nutrientes, calculada de esta forma, se obtiene con puntos simétricos, cuyas abcisas están comprendidas entre 0,15 y 0,25 aproximadamente, y mejor aún entre 0,15 y 0,20 (4) para el elemento que está en menor proporción, y para el complementario entre 0,85 y 0,80 (expresados estos valores en tanto por uno). Es conveniente señalar que para que se cumpla, o se verifique, la forma de cálculo geométrico, es necesario que el máximo tenga su abcisa comprendida entre la de los dos puntos simétricos tomados.

La investigación del equilibrio óptimo de *forma algebraica*, se basa en el hecho de que la curva de respuesta se adapte a la ecuación sim-

plificada  $y = \frac{x(1-x)}{ax+b}$ . Según los autores, los errores a que pudiera

dar lugar esta ecuación no son superiores a los corrientes de la curva probable, expresando efectivamente la interacción en la medida en que los puntos experimentales la definen.

En la aplicación del método a suelo real el problema se hace más complejo, siendo necesario establecer e introducir en los cálculos un término correctivo (4).

El método de V. S. (\*) es aplicable también al cálculo de la proporción óptima para una interacción ternaria y para una interacción de orden superior, basándose siempre en la demostración utilizada para la interacción binaria.

Como todas las teorías nuevas y originales, ésta ha estado y está sometida a numerosas críticas favorables y desfavorables, entre las que citamos los trabajos realizados por Beauchamp (1), Richard (10), Conreiras y col. (2) y los de Prevot et Ollagnier (9), estos últimos han comparado el método de V. S. con el método factorial, llegando a resultados poco satisfactorios. El profesor Homés hace una crítica sobre este trabajo de Prevot et Ollagnier, diciendo que hay un error de concepto por parte de los autores de dicho trabajo entre el método de V. S. y el de alimentación equilibrada (3).

El objeto del trabajo que presentamos es principalmente hacer un estudio comparativo entre el método de alimentación equilibrada (o de regresión) y el de variantes sistemáticas, resolviendo este último me-

(\*) V. S. = Variantes Sistemáticas.

dian­te las dos formas de cálculo antes mencionadas; también se hace un estudio crítico de estas formas de cálculo y del intervalo de los puntos simétricos tomados para su resolución.

#### PLANTEAMIENTO DEL EXPERIMENTO

El planteamiento del experimento que nos ocupa es el mismo que el utilizado para el estudio del método de nutrición equilibrada de Homés (7), ya que el método de variantes sistemáticas se aplica a los valores observados obtenidos con aquel. No obstante creemos conveniente en este caso volver a mostrar el planteamiento del ensayo.

El estudio se ha realizado en macetas de cuatro Kg. de capacidad, con tres suelos diferentes.

Las condiciones ambientales fueron controladas en invernadero, con una temperatura próxima a los 18° C, y una humedad relativa de 85-90 por 100.

El agua fue suministrada según las necesidades de la planta. Esta fue *Lolium italicum* «Tactoe».

El método de abonado utilizado ha sido el propuesto por Homés. La distribución de los tratamientos para los diferentes niveles utilizados se dan en la tabla II. Se han utilizado como variables los elementos N y P, que según el planteamiento de dicha tabla, cuando uno crece el otro decrece en proporción geométrica, manteniéndose siempre la suma constante. A su vez los niveles crecen también de forma geométrica. Los niveles que se utilizan son: 0,5, 1,0, 2,0 y 4,0 g/maceta.

El N fue adicionado como nitrato amónico, potásico o calcio. El P como fosfato monopotásico o dipotásico, como fosfato monocálcico o dicálcico, con el fin de mantener el equilibrio aniónico y catiónico constante como exige el método.

El resto de los elementos mayores se adicionaron mediante las siguientes sustancias, combinándolas en cada caso de forma adecuada:  $\text{PO}_4 \text{H}_2\text{K}$ ,  $\text{PO}_4 \text{H K}_2$ ,  $(\text{PO}_4 \text{H}_2)_2\text{Ca}$ ,  $\text{PO}_4 \text{H Ca}$ ,  $\text{SO}_4 \text{Mg}$ ,  $\text{NO}_3 \text{NH}_4$ ,  $\text{CL}_2 \text{Mg}$  6  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ ,  $\text{NO}_3 \text{K}$ ,  $\text{CO}_3 \text{Ca}$ ,  $\text{CO}_3 \text{Mg}$ .

Los elementos menores fueron suministrados mediante las siguientes sustancias y cantidades:

Mo	como	Mo O <sub>3</sub>	0,00300 g/maceta.
B	»	BO <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	0,17100 »
Zn	»	SO <sub>4</sub> Zn 7 H <sub>2</sub> O	0,33782 »
Cu	»	SO <sub>4</sub> Cu 5 H <sub>2</sub> O	0,12300 »
Mn	»	SO <sub>4</sub> Mn H <sub>2</sub> O	0,69120 »
Fe	»	SO <sub>4</sub> Fe 7 H <sub>2</sub> O	3.840000 »

Las cantidades fueron deducidas de los análisis minerales de las muestras testigos, y considerando rendimientos más bien altos por maceta, teniendo en cuenta la extracción y la fertilidad del suelo.

Los fertilizantes se adicionaron en dos fechas, la primera dosis cuando las plantas alcanzaban tres centímetros, y la segunda veinte días después. Se han efectuado cuatro repeticiones para cada tratamiento.

Las muestras de planta fueron tomadas en la floración y desecadas en la estufa a 100° C durante doce horas.

El análisis químico y granulométrico de los tres suelos utilizados se muestra en la tabla I.

TABLE I  
*Análisis químico y granulométrico del suelo*

t o	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	CaO	M. O.
	%	Kg/ha	Kg/ha	H <sub>2</sub> OClK	Kg/ha	%
I	0,140	90	1125	6,0 — 5,0	4700	2,34
II	0,070	75	325	5,7 — 4,7	1375	1,29
III	0,040	225	240	7,6 — 6,5	1900	0,41

Suelo	C	C/N	CO <sub>2</sub>	Ar. gruesa	Ar fina	Limo	Arcilla
	%	%	%	%	%	%	%
I	1,36	9,7	—	5,5	66,5	12,4	12,4
II	0,75	10,7	—	52,0	24,0	12,0	8,4
III	0,24	6,0	—	18,5	57,0	8,0	16,0

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el ensayo se indican en la tabla II. Asimismo se muestran los valores teóricos calculados con las ecuaciones  $q$ ,  $u_1$  y  $u_2$ , utilizadas para estudiar el método de nutrición equilibrada (7). Dichas ecuaciones corresponden a las expresiones matemáticas:

$$q; y = ax^2 + bx + c$$

$$u_1; y = \frac{(x+m)(1-x+n)}{ax+b}$$

$$u_2; y = \frac{(x+m)(1-x+n)}{ax^2+bx+c}$$



La ecuación  $q$  es una ecuación cuadrática. Las ecuaciones  $u_1$  y  $u_2$ , son de tipo hiperbólico;  $m$  y  $n$  representan la cantidad de nutriente que aporta el suelo en las mismas condiciones que los adicionados.

El método de V. S. se resuelve por las dos formas de cálculo (geométrica y algebraica) y para mostrar el mecanismo completo de su desarrollo nos vamos a referir al ejemplo del suelo I, en los niveles 1,0 y 2,0 g/maceta, para los puntos simétricos,

$$\begin{aligned}x &= 0,14 \\1 - x &= 0,86\end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned}x &= 0,86 \\1 - x &= 0,14\end{aligned}$$

con los correspondientes valores observados.

Nivel 1,0 g/maceta

$$\begin{array}{ll}Y_1 = 8,6 \text{ g/maceta} & X = 0,14 = N \\ & 1 - X = 0,86 = P \\ Y_2 = 17,0 \text{ g/maceta} & X = 0,86 = N \\ & 1 - X = 0,14 = P\end{array}$$

Por comodidad, para no hacer referencia a estas indicaciones de los puntos simétricos, es decir el poner sus coordenadas, se suele mencionar simplemente, al expresar el rendimiento por  $Y$ , un subíndice con la letra del elemento que está en el nivel con mayor proporción. Por ejemplo en el caso anterior sería:

$$\begin{aligned}Y_1 &= Y_p = 8,6 \text{ g/maceta} \\ Y_2 &= Y_n = 17,0 \quad \text{»}\end{aligned}$$

En lo sucesivo se utilizará esta nomenclatura.

Para el nivel 2,0 g/maceta

$$\begin{aligned}Y_n &= 22,0 \text{ g/maceta} \\ Y_p &= 11,7 \quad \text{»}\end{aligned}$$

El cálculo de la proporción óptima según la forma de cálculo geométrica es como sigue:

$$\text{nivel 1,0 g/maceta; } Y_m = \frac{Y_p + Y_n}{2} = \frac{8,6 + 17}{2} = 12,8 \text{ g/maceta.}$$

$$\frac{Y_t}{Y_m} = \frac{7,4}{12,8} = 0,58$$



TABLA II

Valores observados y calculados con las ecuaciones  $q$ ,  $u_1$ ,  $u_2$  y tratamiento correspondiente adicionado, expresados en gramos de sustancia seca por maceta

Niveles g/maceta	Tratamiento		SUELO I			SUELO II			SUELO III					
	N	P	OBS.	Calculados			OBS.	Calculados			OBS.	Calculados		
				q	$u_1$	$u_2$		q	$u_1$	$u_2$		q	$u_1$	$u_2$
0.50	0,50	0,00	13,9	13,61	13,61	13,61	8,0	8,91	8,00	8,00	6,1	6,10	6,35	6,10
	0,43	0,07	14,1	13,10	13,10	13,10	10,6	9,03	10,65	10,59	5,4*	5,81	5,85	6,13
	0,36	0,14	10,6	12,60	12,60	12,60	8,4*	8,85	9,46	10,15	6,0	5,42	5,85	6,01
	0,28	0,22	13,1	12,03	12,03	12,03	8,2	8,32	8,14	8,29	5,5	5,00	4,78	5,49
	0,22	0,28	10,6	11,60	11,60	11,60	7,8	7,51	7,06	7,15	3,9*	4,50	4,85	4,77
	0,14	0,36	10,5	11,02	11,02	11,02	6,0	6,30	5,83	5,76	3,7	3,93	3,78	3,71
	0,07	0,43	12,5	10,52	10,52	10,52	4,2	4,86	4,57	4,44	3,1	3,30	3,28	3,09
	0,00	0,50	9,2	10,02	10,02	10,02	3,7	3,20	3,53	3,62	2,8	2,60	2,78	2,80
1,00	1,00	0,00	15,2	15,61	15,13	15,19	11,4	11,56	11,70	11,01	13,9	13,91	13,9	13,90
	0,86	0,14	17,0	16,70	17,17	17,00	12,5	12,33	12,02	12,33	13,0	12,92	13,00	13,00
	0,72	0,28	17,6	17,09	17,52	17,59	12,1	12,61	12,50	12,46	11,2*	11,60	11,71	11,71
	0,57	0,43	16,3	16,40	16,17	16,30	11,9	12,22	12,16	12,00	10,0	10,00	10,00	10,00
	0,43	0,57	13,9	15,11	14,02	13,89	11,4	11,22	11,24	11,08	8,9*	8,45	8,24	8,24
	0,28	0,72	14,4*	12,92	11,40	10,88	9,8	9,44	9,66	9,75	6,2	6,31	6,15	6,15
	0,14	0,86	8,6	10,00	8,59	8,60	7,5	7,14	7,33	7,62	4,0	4,23	4,05	4,05
	0,00	1,00	6,9*	6,81	5,56	6,72	3,8	4,22	3,93	2,80	1,9	1,82	1,88	1,88
2,00	2,00	0,00	20,9	21,22	20,84	20,84	20,1	22,00	20,11	20,10	18,0	17,81	17,97	17,86
	1,72	0,28	22,0	21,41	21,90	21,90	24,0	21,12	24,03	23,98	18,0	18,20	19,73	18,38
	1,44	0,56	20,7	20,90	21,03	21,03	19,9	19,78	19,46	19,95	17,0*	17,80	19,27	18,00
	1,14	0,86	19,2*	19,70	19,70	19,75	16,8	17,88	16,69	16,80	17,6	16,33	17,35	16,59
	0,86	1,14	18,6*	18,00	18,00	17,70	16,5*	15,61	14,02	13,80	13,3	14,11	14,10	14,33
	0,56	1,44	15,8	15,51	15,19	15,19	11,5	12,70	11,47	11,37	10,8*	10,74	10,56	10,91
	0,28	1,72	11,7	12,63	12,26	12,26	8,8	9,52	9,05	8,96	7,2	6,70	6,50	5,42
	0,00	2,00	9,5	9,10	9,37	9,37	6,9	5,90	6,75	6,85	1,6	1,90	2,30	1,74
4,00	4,00	0,00	21,0	21,11	21,11	21,11	22,7	20,96	22,50	22,50	26,3	26,00	26,27	26,20
	3,44	0,56	25,7	24,82	24,77	24,77	23,2	23,12	23,58	23,58	28,0	27,00	28,03	28,17
	2,88	1,12	26,0	26,60	26,65	26,65	20,1*	23,90	23,55	23,55	22,6*	26,40	27,95	28,02
	2,28	1,72	25,5	26,71	26,67	26,67	23,0	23,22	22,49	22,49	26,2	24,10	25,92	25,86
	1,72	2,28	24,9	24,80	24,83	24,83	20,2	21,17	20,65	20,65	21,5	20,41	22,22	22,16
	1,12	2,88	22,6	20,90	20,87	20,87	23,0*	17,45	16,88	16,88	17,2	14,83	16,64	16,70
	0,56	3,44	14,8	15,30	15,32	15,32	12,0	12,56	11,73	11,73	3,0*	7,90	9,74	10,00
	0,00	4,00	7,7	8,00	7,99	7,99	4,5	6,30	4,64	4,64	1,5	0,45	1,61	1,60

Los valores que presentan asterisco o un punto en la parte superior son los que no se han tenido en cuenta en la regresión  $u_2$  y  $u_1$ , respectivamente.

Para el nivel 0,5 g/maceta suelo I en el caso de  $U_1$   $U_2$  se ha utilizado una recta para hacer el ajuste. También para este nivel en el suelo III y para  $U_1$ .

Rendimientos de los testigos

$$T_1 = 7,4 \text{ g/maceta.}$$

$$T_2 = 4,09 \text{ g/maceta.}$$

$$T_3 = 0,9 \text{ g/maceta.}$$

Por el valor 0,58 se calcula directamente el valor de F en la tabla antes comentada y que se puede ver en (4).

Para este caso  $F = 0,50$ . Algunas veces, muchas, no coincide el valor  $Y_t/Y_m$  con los valores dados en dicha tabla, y es necesario extrapolar. Si el valor es muy próximo a uno ya dado en la tabla este trabajo no es necesario, pues la diferencia no conduce a error prácticamente.

$$Y = Y_m \cdot F = 12,8 \cdot 0,5 = 6,4$$

$$X_m = \frac{Y_p + Y_n - 2T}{Y_p - T} = \frac{8,6 - 6,4}{8,6 + 17,0 - 12,8} = \frac{2,2}{12,8} = 0,172 \text{ para P, en tanto por uno.}$$

$$X_m = \frac{Y_n - T}{Y_p + Y_n - 2T} = \frac{17,0 - 6,4}{8,6 + 17,0 - 12,8} = 0,828 \text{ para N, en tanto por uno.}$$

Expresando en tanto por ciento:

$$P = 17,2 \%$$

$$N = 82,8 \%$$

Para el nivel 2,0 g/maceta.

$$Y_m = \frac{Y_p + Y_n}{2} = \frac{11,7 + 22,0}{2} = 15,85; \frac{Y_t}{Y_m} = \frac{7,4}{15,85} = 0,47$$

$$F = 0,44; T = 15,85 \times 0,44 = 6,97$$

$$X_m = \frac{Y_p - T}{Y_p + Y_n - 2T} = \frac{11,7 - 6,97}{11,7 + 22,0 - 13,84} = 0,240 \text{ para F}$$

$$X_m = \frac{Y_n - T}{Y_p + Y_n - 2T} = \frac{22,0 - 6,97}{11,7 + 22,0 - 13,84} = 0,760 \text{ para N}$$

En tanto por ciento sería:

$$P = 24,0 \%$$

$$N = 76,0 \%$$

Forma de cálculo algebraico; con los mismos valores, nivel 1,0 g/maceta

$$Y_p = \frac{X_1(1 - X_1)}{X_1 a + b} = \frac{0,14(1 - 0,14)}{0,14 a + b} = 8,6$$

$$Y_n = \frac{X_2(1 - X_2)}{X_2 a + b} = \frac{0,86(1 - 0,86)}{0,86 a + b} = 17,0$$

como el numerador en las dos fracciones es igual se tiene la siguiente expresión:

$$17,0 (0,86 a + b) = 8,6 (0,14 a + b)$$

y como

$$\frac{b}{a} = c;$$

se deduce que

$$\frac{b}{a} = - \frac{13,42}{8,4} = -1,60 = c;$$

como

$$X_m = -c \pm \sqrt{c^2 + c},$$

sustituyendo resulta

$$X_m = 0,62; \quad \begin{array}{l} N = 62,0 \% \\ P = 38,0 \% \end{array}$$

Para el nivel 2,0 g/maceta, de la misma manera, se tiene la expresión:

$$22,0 (0,86 a + b) = 11,7 (0,14 a + b)$$

$$\frac{b}{a} = - \frac{17,28}{10,3} = 1,68 = c$$

$$X_m = 0,541; \quad \begin{array}{l} N = 54,1 \% \\ P = 45,9 \% \end{array}$$

A continuación exponemos en la tabla III los resultados de los óptimos calculados por V. S. mediante el método geométrico, para valores observados y calculados; estos últimos calculados por las regresiones efectuadas con las ecuaciones  $q$  y  $u_2$ . También los obtenidos de forma algebraica.

No se utiliza la ecuación  $u_1$  porque los valores obtenidos con dicha ecuación y  $u_2$  son muy semejantes (tabla II), pero  $u_2$  dispone de mayor número de grados de libertad y tiene mayor flexibilidad y movilidad matemática.

La aplicación del método geométrico es válido, siempre que el máxi-

TABLA III.

Valores óptimos encontrados por regresión en las ecuaciones q y  $u_2$ , y los calculados por Variantes Sistemáticas mediante la forma de cálculo geométrico y algebraico, a partir de valores observados y calculados

Suelo	Nivel	Forma de cálculo geométrico								Forma de cálculo algebraico					
		Optimo probable calculado por regresión		Valores obs.		Valores q calc.		Valores $u_2$ calc.		Valores obs.		Valores q calc.		Valores $u_2$ calc.	
		q	$u_2$	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo
		$x=0$ $1-x=1$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0$ $1-x=1$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0$ $1-x=1$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0,28$ $1-x=0,72$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0,28$ $1-x=0,72$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0,28$ $1-x=0,72$	$x=0,14$ $1-x=0,86$	$x=0,28$ $1-x=0,72$
I	0,5	100,0	100,0	64,0*	88,0*	74,0*	80,0*	74,0*	82,0*	52,0*	50,2*	54,0*	54,0*	54,0*	54,0*
	1,0	71,1	74,2	83,0	83,0	76,0	75,0	84,0	82,0	62,0	53,0	58,9	60,8	62,0	63,9
	2,0	90,1	85,0	90,0	88,0	91,0	86,0	90,0	86,5	54,1	57,6	59,0	59,0	60,0	59,0
	4,0	65,0	65,5	97,0	91,8	96,5	92,0	96,7	92,0	58,8	53,0	57,9	57,1	57,9	57,1
II	0,5	87,3	84,0	66,0	96,6	84,0	60,0	68,0	80,0	67,0	60,0	66,0	60,0	66,0	67,0
	1,0	72,7	78,0	91,0	74,0	87,0	71,0	91,0	69,0	58,7	56,0	60,2	58,0	57,8	57,0
	2,0	100,0	85,0	92,5	92,0	91,0	85,0	94,5	88,5	68,0	67,3	63,9	63,0	67,1	67,0
	4,0	71,0	77,7	97,0	93,3	95,0	92,3	96,5	94,0	61,2	43,0	61,0	58,8	62,3	60,0
III	0,5	100,0	83,0	66,0*	76,0*	62,0*	52,0*	60,0*	64,0*	60,1*	63,8*	60,2*	60,0*	62,1*	64,0*
	1,0	100,0	100,0	84,0*	76,0*	80,0*	70,0*	80,0*	73,0*	72,0*	61,0*	72,0*	69,0*	60,0*	72,0*
	2,0	86,0	85,0	91,0	83,5	90,0	84,5	91,0	86,5	67,0	64,0	68,0	65,3	72,2	64,9
	4,0	84,0	80,0	95,3	94,5	96,0	93,0	95,5	91,0	—	58,2	72,3	67,9	69,0	65,7

El valor de los puntos ensayados viene expresado en tanto por uno, mientras que los óptimos vienen expresados en tanto por ciento.

Los valores que presentan un asterisco no se tendrán en cuenta para calcular la significación de las diferencias, pues sus óptimos probables están fuera del intervalo.



mo tenga su abcisa comprendida entre la de los dos puntos simétricos tomados. En la tabla III se indican con un asterisco los valores hallados por este camino, que tienen un óptimo calculado por regresión que está fuera del intervalo. Estos valores calculados no se han tenido en cuenta para hacer la significación de las diferencias entre óptimos probables (calculados por regresión), hallados de forma geométrica.

Hay otros valores en los que el óptimo calculado por regresión está fuera del intervalo de abcisas de los valores ensayados para hacer el cálculo por V. S. Sin embargo estos valores serán tenidos en cuenta, pues las diferencias no son muy grandes y además el óptimo probable está dentro del intervalo estudiado.

Hay unos casos particulares que es preciso explicar. Se trata del óptimo probable calculado por la regresión  $q$ , en el suelo II, nivel 2,0 g/maceta. Es evidente que hay respuesta al P, como se puede apreciar en la tabla III en los niveles anteriores y posteriores y en los calculados por la regresión  $u_2$ . Este valor del 100 por 100 en N en el nivel 2,0 g/maceta es debido a la poca flexibilidad de la ecuación  $q$ , que tiene cierta tendencia a desviar el óptimo en abcisas.

Lo que ocurre en el suelo III, nivel 0,5 g/maceta, y para la regresión  $u_2$  es probablemente un error nuestro. Al hacer la regresión no se han tenido en cuenta los valores que desvían la trayectoria real de la curva. Si se observan los valores calculados para este nivel con la regresión  $q$ , y para el nivel siguiente, 1,0 g/maceta, con ambas ecuaciones, se aprecia que no hay respuesta al P para estos niveles, en este suelo (tabla III). Este valor será considerado como óptimo probable, fuera del intervalo estudiado.

También se observa en la tabla III la gran tendencia, en la forma de cálculo algebraico, a centralizar las proporciones óptimas. En cambio en la forma de cálculo geométrico ocurre lo contrario; hay una tendencia a descentralizar las proporciones óptimas en el sentido que crece el elemento que es más limitante o deficiente. La significación de estas tendencias se expresa matemáticamente en la tabla IV.

Para el cálculo de la proporción óptima por la forma algebraica se han utilizado los valores:

$$\begin{aligned}x &= 0,14 \\ 1 - x &= 0,86\end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned}x &= 0,28 \\ 1 - x &= 0,72\end{aligned}$$

y sus simétricos, pues no se puede utilizar el valor extremo,

$$\begin{aligned}x &= 0 \\ 1 - x &= 1\end{aligned}$$

porque en todos los niveles daría un valor igual, proporción 100 por 100.

TABLA IV

Significación de las diferencias entre óptimas probables (regresión) y los calculados por V. S. en forma de cálculo geométrico y algebraico

FORMA DE CALCULO GEOMETRICO, VALORES DE $t$								
Suelo	Valores observados		Valores calculados con $q$		Valores observados		Valores calculados con $\mu_2$	
	$X_q - X_{0,0}$	$X_q - X_{0,14}$	$X_q - X_{0,0}$	$X_q - X_{0,44}$	$X_{\mu_2} - X_{0,0}$	$X_{\mu_2} - X_{0,14}$	$X_{\mu_2} - X_{0,0}$	$X_{\mu_2} - X_{0,14}$
I	1,703 *	1,530 *	1,278 *	0,987 *	2,176 *	2,052 *	2,279 *	1,883 *
II	0,397 *	0,732 *	0,900 *	0,572 *	0,712 *	1,372 *	0,877 *	0,248 *
III	3,437 *	0,716 *	2,530 *	0,859 *	2,750 *	0,958 *	2,733 *	1,533 *

FORMA DE CALCULO ALGEBRAICO, VALORES DE $t$								
Suelo	Valores observados		Valores calculados con $q$		Valores observados		Valores calculados con $\mu_2$	
	$X_q - X_{0,14}$	$X_q - X_{0,28}$	$X_q - X_{0,14}$	$X_q - X_{0,28}$	$X_{\mu_2} - X_{0,14}$	$X_{\mu_2} - X_{0,28}$	$X_{\mu_2} - X_{0,14}$	$X_{\mu_2} - X_{0,28}$
I	2,936 **	3,389 **	2,928 **	2,879 **	3,146 **	3,652 **	2,975 **	2,938 **
II	2,651 **	3,076 **	2,876 **	3,303 **	5,748 ***	4,509 ***	6,094 ***	5,676 ***
III	4,991 **	6,745 **	4,704 **	5,627 **	4,483 **	6,065 **	4,465 **	4,781 **

\* diferencias no significativas.

\*\* » significativas.

\*\*\* » muy significativas.

— Se refieren los valores observados y calculados, a los óptimos calculados por V. S. a partir de valores observados y calculados con  $q$  y  $\mu_2$ .

Al objeto de comprobar el rigor del cálculo mediante V. S. (con ambas formas), se estudia la significación de las diferencias entre las proporciones óptimas calculadas por regresión (nutrición equilibrada), y las calculadas mediante V. S. Las diferencias en los óptimos calculados por V. S. de forma algebraica son significativas (tabla IV), y en algunos casos muy significativas. Sin embargo, para la forma de cálculo geométrico estas diferencias no son significativas en ningún caso. Según esto, la forma de cálculo algebraico no es válida para aplicar el método de variantes sistemáticas en estos suelos, para este tipo de cultivo, y en las condiciones en que se ha trabajado. El criterio seguido para ver la significación de estas diferencias es el de la  $t$  de Student.

Cuando el número de valores observados es 8, la significación de las diferencias está comprendida entre los siguientes límites:

Para valores de $t < 2,45$	las diferencias no son significativas
» » » $t > 2,45 < 3,71$	» » son significativas
» » » $t > 3,71$	» » son muy significativas

Cuando el número de valores observados es 6, los límites son:

Para valores de $t < 2,78$	las diferencias no son significativas
» » » $t > 2,78 < 4,60$	» » son significativas
» » » $t > 4,60$	» » son muy significativas

Cuando el número de valores es 4, los límites son:

Para valores de $t < 4,30$	las diferencias no son significativas
» » » $t > 4,30 < 9,92$	» » son significativas
» » » $t > 9,92$	» » son muy significativas

Estos valores vienen expresados según los criterios dados por Pearson (9) a este respecto.

Posteriormente se prueba, mediante la forma geométrica, otro valor intermedio, para ver la tendencia de los valores óptimos resultantes al irse aproximando los puntos simétricos al centro del intervalo. Los puntos simétricos a ensayar son:

$$x = 0,28$$

$$1 - x = 0,72$$

y

$$x = 0,72$$

$$1 - x = 0,28$$

Varios óptimos probables (calculados por regresión) están fuera del intervalo de abscisas de estos dos puntos simétricos. No obstante, se

estudian los resultados, exceptuando solamente aquellos casos en que el óptimo calculado está fuera del intervalo estudiado (que no es intervalo de abscisas simétricas).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Nivel g/maceta	Suelo		
	I	II	III
0,5	51,0	81,6	74,7
1,0	76,7	84,0	98,0
2,0	71,0	77,2	66,0
3,0	59,0	65,4	57,8
media	68,9	77,1	61,9

Estos valores están dados en % N. Comparando estos resultados con los obtenidos en la tabla III, se observa que la tendencia de los óptimos calculados es centralizadora a medida que los puntos simétricos utilizados para su cálculo están más próximos al centro del intervalo

Los puntos simétricos estudiados son:

$$\begin{array}{ccccccc}
 x = 0,0 & & x = 1,0 & & x = 0,14 & & x = 0,86 \\
 1 - x = 1,0 & \text{y} & 1 - x = 0,0 & ; & 1 - x = 0,86 & \text{y} & 1 - x = 0,14 \\
 & & x = 0,28 & & x = 0,72 & & \\
 & & 1 - x = 0,72 & \text{y} & 1 - x = 0,28 & & 
 \end{array}$$

Los valores indicados con una raya en el cuadro anterior no son tenidos en cuenta, por estar el óptimo probable fuera del intervalo.

Como se ha visto, las diferencias en abscisas (proporciones óptimas) no son significativas, pero se puede pensar que las producciones correspondientes a estas proporciones sí que lo sean. Para estudiar esta objeción se calcula, en las ecuaciones  $q$  y  $u_2$ , la producción correspondiente a las proporciones óptimas calculadas mediante V. S. (forma geométrica), comparándola con la producción óptima calculada por regresión. Para hacer este estudio comparativo se toma el punto simétrico

$$\begin{array}{c}
 x = 0,14 \\
 1 - x = 0,86
 \end{array}$$

por ser las proporciones calculadas con él las que menos difieren de las probables (regresión), y por estar dentro del margen de mayor confianza dado por el autor para este cálculo (0,10 — 0,20). Los resultados



obtenidos se muestran en la tabla V, y en las rayas los valores no han sido calculados por estar la proporción óptima probable fuera del intervalo estudiado.

TABLA V

*Rendimientos máximos de las regresiones  $q$  y  $u_2$ . Rendimientos máximos calculados en las regresiones  $q$  y  $u_2$ , con las proporciones óptimas calculadas por V. S. \**

Suelo	Nivel g/maceta	Rendimientos regresión		Rendimientos V. S.	
		$q$	$u_2$	$q$	$u_2$
I	0,5	13,89	13,61	—	—
	1,0	16,94	17,37	16,79	17,26
	2,0	21,38	22,01	21,43	21,75
	4,0	26,91	26,92	23,44	23,44
II	0,5	9,03	10,62	10,91	8,95
	1,0	12,61	12,47	12,61	12,41
	2,0	22,00	23,98	21,56	23,25
	4,0	23,91	23,63	22,60	23,10
III	0,5	6,12	6,14	—	—
	1,0	13,59	13,90	—	—
	2,0	18,18	18,40	18,18	18,38
	4,0	27,00	28,30	26,62	27,30

Estos valores vienen expresados en g/maceta.

\* V. S. = Variantes Sistemáticas.

En la tabla VI se indica la significación de las diferencias y de la nomenclatura utilizada. En ningún caso estas diferencias son significativas, por tanto podemos concluir para el método de variantes sistemáticas forma geométrica, que en las condiciones del ensayo, en estos suelos y en este tipo de cultivo, el método se cumple, y se da por válido el cálculo de las proporciones óptimas de los elementos variables estudiados con dicho método. La verificación satisfactoria del método de V. S., supone una gran ventaja para preparar disoluciones nutritivas adecuadas para la planta, o bien cuando se trata de conocer en campo el estado de fertilidad de una zona o la fertilización más adecuada de un cultivo.

Para hacernos una idea de la sencillez y fácil manejo del método vamos a compararlo con otros dos métodos, generalmente los más utilizados (para preparar disoluciones nutritivas y conocer la fertilidad

y fertilización de un suelo para un cultivo determinado); método factorial y método de nutrición equilibrada.

TABLA VI

Valores  $t$  (Student) para las diferencias entre rendimientos máximos calculados por regresión y por V. S. (forma geométrica), en las ecuaciones  $q$  y  $u_2$ —

S u e l o	V A L O R E S $t$		
	$Y_{qR} - Y_{qV.S.}$	$Y_{u_2R} - Y_{u_2V.S.}$	$Y_{qV.S.} - Y_{u_2V.S.}$
I	$t = 1,043 *$	$t = 1,168 *$	$t = 1,900 *$
II	$t = 0,048 *$	$t = 2,211 *$	$t = 1,010 *$
III	$t = 1,000 *$	$t = 1,041 *$	$t = 1,833 *$

\* diferencias no significativas.

\*\* diferencias significativas.

\*\*\* diferencias muy significativas.

$Y_{qR}$  = Valores máximos de la regresión  $q$ .

$Y_{u_2R}$  = Valores máximos de la regresión  $u_2$ .

$Y_{qV.S.}$  = Valores obtenidos en la regresión  $q$ , con V. S.

$Y_{u_2V.S.}$  = Valores obtenidos en la regresión  $u_2$ , con V. S.

Para el caso de dos nutrientes, cinco niveles, y cuatro repeticiones en el método factorial son necesarios 100 parcelas experimentales, para el de nutrición equilibrada (tomando cinco puntos para definir la curva en cada nivel) también 100 parcelas, y para el de variantes sistemáticas, 40. Estas diferencias aumentan considerablemente cuando aumenta el número de variables a estudiar.

### CONCLUSIONES

En el estudio efectuado para las condiciones del ensayo; y para los suelos estudiados se llega a las siguientes conclusiones:

1. Que con el método de Variantes Sistemáticas (forma geométrica), se puede calcular de forma aceptable y válida la relación óptima de los nutrientes ensayados, pues:

a) Las proporciones óptimas calculadas de forma geométrica están dentro del intervalo de desviación no significativa, calculado para las proporciones óptimas probables (por regresión).

b) Las diferencias en rendimientos (ordenadas) tampoco son significativas.

2. La forma de cálculo algebraica no es aceptable en las condiciones del ensayo.

3. Los puntos simétricos de mayor fiabilidad de cálculo con las dos formas (geométrica y algebraica) son:

$$\begin{array}{ll} x = 0,14 & x = 0,86 \\ 1 - x = 0,86 & 1 - x = 0,14 \end{array}$$

Estos puntos están dentro del intervalo, dado por el autor del método como más adecuado para el cálculo.

4. La forma algebraica tiene una tendencia muy marcada a desviar hacia el centro del intervalo los óptimos calculados, y tanto mayor cuando los valores simétricos son más céntricos. La tendencia a centralizar el óptimo calculado, a medida que los puntos simétricos tomados para su cálculo son más céntricos en el intervalo, ocurre también en la forma de cálculo geométrica.

5. En ambas formas hay mayor aproximación entre los óptimos calculados con valores simétricos obtenidos por regresión, que en los calculados con valores simétricos observados.

#### RESUMEN

El fin del trabajo es hacer un estudio comparativo, con objeto de comprobar la validez del método de Variantes Sistemáticas para el cálculo de las proporciones óptimas de abonado con diferentes niveles. Se aplican las dos formas de resolver el método, forma algebraica y geométrica. Los cálculos así obtenidos se comparan con los obtenidos mediante Nutrición Equilibrada, con las ecuaciones  $q$  y  $u_2$ :

$$q; y = a x^2 + b x + c$$

$$u_2; y = \frac{(x + m)(l - x + n)}{a x^2 + b x + c}$$

Las diferencias de cálculo obtenidas con la forma geométrica no son significativas (ni en proporciones óptimas ni en producción), y en cambio sí son significativas las obtenidas con la forma algebraica. Esta última no es aceptable para el cálculo en las condiciones del ensayo, en los tres suelos estudiados.

El trabajo se ha realizado en macetas en invernadero en condiciones ambientales controladas, con una gramínea *Lolium italicum* «Tactoe». Se estudian las variables N y P, en tres suelos diferentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BEAUCHAMP, E. G. and HAMILTON, H. A. (1969). Optima ratios of nitrogen and phosphorus fertilizers for corn determined by Homés method of systematic variations. *Can., J. Plant. Sci.*, 50, 141-150.
- (2) CONTREIRAS, J., BAPTISTA, S. E. ARRIAGA de J. M. e CUNHA, y PERDIGA, S. j. (1956). Modificação de modalidade originale de «método de Homés». *Agronomia Lusitania*, 18, 151-166. Cit. en (5).
- (3) HOMÉS, M. V. (1961). L'Alimentation minerale équilibrée des végétaux. *Universa Wetteren. Belgique*, Vol. I.
- (4) HOMÉS, M. V. and VAN SCHOOR, G. H. (1966). Alimentation minerale équilibrée des Végétaux. *Universa Wetteren. Belgique*. Vol. II.
- (5) HOMÉS, M. V. and VAN SCHOOR, G. H. (1969). La nutrición minerale des végétaux. *Masson et Cie. París*.
- (6) HOMÉS, M. V. and VAN SCHOOR, G. H. (1973). Les courbes de reponse des végétaux aux interations minerales alimentaires. *Ann. Phys. végét.*, Bruxelles 16. Fascicule unique, 1-248.
- (7) MARTÍN POLO, J. L., GÓMEZ GUTIÉRREZ, J. M. y DOCOBO FERNÁNDEZ, A. (1975). Estudio de la nutrición de plantas forrajeras según el método de Homés. *Vol. 34*, 725-745.
- (8) PEARSON, F. A. and BENNETT, K. R. (1951). *Statistical Methods. Applied to Agricultural Economic*. New York. John Wiley and Sons. Inc. Fourth Printing.
- (9) PREVOT, P. et OLLAGNIER, M. (1961). Law of the minimum ad balanced mineral nutrition. In *Plant Analysis and Fertilizer Problem*, ed. Walter Teuther, A. I. B. S. Washington 253-277. Cit. en (5).
- (10) RICHARD, L. et BASSET, M. (1960). Estude de la surface de recolte d'*Aspergillus niger* on crops yield and composithion. *Proc. NAAS «open» Conference of Advisory Soil Chemists. (limited circulation)*. Cit. en Whitehead, D. C. (1966). *Nutrients minerals in grassland herbage. Mimeo. Publ.*, 1/1966 *Commonw. Bur. Past Fld. Crops*.

Recibido para publicación : 30-V-75



# DETERMINACION DE ELEMENTOS-TRAZA Y DISTRIBUCION EN LAS DISTINTAS FRACCIONES DEL SUELO

## V. RENDSINAS

por

C. MAQUEDA \*, M. LACHICA \*\*, J. AGUILAR \*\*\*  
y J. L. PEREZ RODRIGUEZ \*

### SUMMARY

#### DETERMINATION OF TRACE-ELEMENTS AND THEIR DISTRIBUTION IN DIFFERENT FRACTIONS OF THE SOIL. V. RENDZINES

Semiquantitative total content of the elements Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Hg, In, La, Li, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Th, Tl, V, W, Y and Zr is determined by spectrography in the three horizons of two rendzine soils.

On the other hand, each horizon is divided into eight fractions: < 2, 2-10, 10-20, 20-48, 48-100, 100-200, 200-390, and > 390 microns, and their trace-elements content studied separately.

The mineralogical study of the different fractions has been carried out to relate the presence of each element to the existence of the corresponding minerals when it is possible.

The results show the contribution to the total of the soil of every fraction for each of the elements studied.

### INTRODUCCIÓN

Dado que la distribución de los elementos-traza en los perfiles de los suelos y los factores que la rigen son poco conocidos, a pesar de los numerosos trabajos en que se le ha prestado atención a este problema (1, 2, 3, y 4, entre otros), se sabe que existe una cierta correlación entre el contenido total y asimilable y que la fertilidad potencial de un suelo

---

\* Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto del C. S. I. C., Sevilla (España).

\*\* Estación Experimental del Zaidín del C. S. I. C., Granada (España).

\*\*\* Departamento de Edafología. Universidad de Granada.

se encuentra subordinada a la asociación de elementos nutritivos con un determinado tamaño de partícula.

Se estudia en este trabajo, siguiendo la línea de los anteriormente publicados (5, 6, 7 y 8), la distribución de elementos—traza a lo largo del perfil, el contenido en oligoelementos de las distintas fracciones y la mineralogía de éstas, para relacionarla con la presencia de cada uno de los elementos, en dos suelos rendsinas —uno de ellos con carácter vértico—, que caracterizan a suelos calizos, poco profundos, cuyo horizonte A es de color gris y estructura grumosa o migajosa. La materia orgánica de este horizonte (muy escasa en estos suelos cultivados) corresponde a un humus de tipo mull cálcico muy mineralizado. Las restantes propiedades están condicionadas principalmente a la naturaleza de los distintos materiales calizos existentes en la zona.

## PARTE EXPERIMENTAL

### *Descripción de los perfiles*

#### *Perfil I*

*Localidad:* término municipal del Salar de Loja (Granada).

*Situación:* a 1,5 km. al Sur del Salar. Ladera del Zocoira.

*Altitud:* 640 m.

*Orientación:* N. 30° E.

*Inclinación:* 20 por 100.

*Drenaje:* malo.

*Geología:* margas calizas cretácicas.

*Utilización del suelo:* cultivo de olivar.

Horizonte	Prof. cms.	
Ap	0-10	Textura arcillosa. Estructura granular suelta. Color húmedo gris claro. Carbonatos abundantes.
Ap/C	10-25	Textura arcillosa. Estructura granular suelta. Carbonatos abundantes.
C	> 25	Marga caliza. Carbonatos abundantes.

*Perfil II*

*Localidad:* término municipal de Agrón (Granada).

*Situación:* cortijo de los Frailes. Carretera de Granada a Alhama.

*Inclinación:* 0 por 100.

*Geología:* marga yesífera.

*Utilización del suelo:* cultivo de olivar.

Horizonte	Prof. cms.	
Ap	0-10	Textura arcillosa. Estructura grumosa. Color gris claro. Carbonatos abundantes.
Ap/C	10-30	Textura arcillosa. Estructura grumosa. Color gris claro. Carbonatos abundantes.
C	> 30	Marga yesífera.

*Métodos de análisis*

La separación de fracciones, los análisis espectrográfico, difracción de rayos X y mineralógico, así como todas las restantes determinaciones analíticas se llevaron a cabo según la misma metodología ya descrita en un trabajo anterior (5).

## RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

## PERFIL I

*Caracteres físicos y químicos*

Según los datos analíticos expuestos en la tabla II, se trata de un suelo de relativamente elevado pH, con alto contenido en carbonatos y muy poca materia orgánica. El perfil no presenta prácticamente diferencias con respecto a la profundidad, pero como era de esperar el contenido en materia orgánica es algo mayor en el horizonte superficial por existir más restos vegetales. De los resultados de análisis mecánico, mostrados en la tabla I, se deduce que se trata de un suelo con alto contenido en arcilla, la cual se distribuye uniformemente en los tres horizontes. Los contenidos de limo son asimismo relativamente altos,

apreciándose una ligera variación al descender en el perfil. El contenido en arena es algo bajo.

TABLA I

*Análisis mecánico*

Horizonte	Fracciones (micras)							
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390
	Porcentaje							
Ap	47,00	32,40	2,40	2,57	7,05	4,06	1,26	2,16
Ap/C	47,60	29,50	3,90	1,90	6,95	5,30	1,50	2,33
C	46,50	26,80	2,80	2,37	5,48	4,54	3,14	4,50

TABLA II

*Análisis químico*

Horizonte	pH	Mat. org. %	Carbonatos % CO <sub>2</sub>
Ap	7,0	0,85	30,93
Ap/C	7,3	0,64	32,76
C	7,1	0,70	29,60

*Análisis mineralógico**Mineralogía de arcillas y limos*

De los diagramas de difracción de rayos X, cuyos resultados se resumen en las tablas III, IV y V, se deduce la siguiente composición mineralógica:

*Arcilla*

Presencia de montmorillonita e illita, siendo algo más abundante el primero de los minerales mencionados. Su contenido incrementa algo-



TABLA III

*Fracciones arcilla. Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X.  
Método de polvo*

Horizonte Ap		Horizonte Ap/C		Horizonte C	
d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>
16,80	F	16,98	F	16,98	F
9,98	2	9,98	5	9,98	1
4,98	1	4,48	10	4,98	1
4,46	8	4,26	2	4,47	9
4,26	2	3,34	10	4,26	1
3,34	10	3,20	1	3,48	1
3,20	2	2,56	10	3,34	8
2,88	1	2,45	2	2,98	1
2,77	2	2,38	2	2,56	9
2,56	7	2,24	1	2,46	2
2,46	2	2,11	1	2,39	1
2,38	2	1,81	3	2,25	1
2,24	2	1,66	2	2,24	1
2,13	1	1,54	1	2,13	2
1,98	2	1,50	8	1,99	3
1,81	2			1,81	1
1,66	2			1,54	1
1,54	1			1,50	6
1,50	6				

al descender en el perfil, disminuyendo por tanto la ilita. Como mineral accesorio se presenta cuarzo.

### *Limos*

Esta fracción presenta características similares en cuanto a los minerales, pero variando las proporciones, siendo la mica (ilita y moscovita) más abundante. Gran abundancia de cuarzo y algo de feldespatos.

TABLA IV

*Fracciones límo. Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X.  
Método de polvo*

Horizonte Ap		Horizonte Ap/C		Horizonte C	
d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>
16,80	2	16,80	1	16,98	1
9,98	3	9,98	3	9,98	3
4,98	1	4,98	1	4,98	1
4,46	3	4,48	2	4,46	3
4,26	5	4,26	5	4,26	5
3,47	1	3,48	1	3,48	1
3,34	10	3,34	10	3,34	10
3,20	2	2,98	3	3,20	1
2,98	1	2,86	1	2,98	1
2,86	1	2,56	3	2,56	3
2,56	4	2,45	3	2,45	3
2,45	4	2,39	1	2,38	1
2,38	1	2,28	3	2,28	2
2,28	2	2,24	1	2,24	1
2,24	1	2,13	3	2,13	3
2,13	3	1,99	2	1,99	2
1,98	2	1,81	4	1,81	4
1,81	4	1,66	2	1,66	2
1,54	4	1,54	4	1,54	4
1,50	3	1,50	2	1,50	1

### *Mineralogía de arenas*

Como se deduce de la observación de la tabla VI, el carácter mineralógico común es la presencia de cuarzo, más abundante en los horizontes superiores.

La fracción más gruesa investigada, es decir la que comprende las

TABLA V

Fracciones arcilla y limo. Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X

Muestra	A. O.		A. O. + E. G.		A. O. + Glicerol		A. O. 550° C	
	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>
Hor. Ap < 2 μ	14,24	f	16,80	f	18,31	f	10,10	mmf
	10,10	m	9,98	m	9,98	m	4,98	m
	4,98	d	4,98	d	4,98	d	—	—
Hor. Ap/C < 2 μ	14,24	mf	16,98	mf	18,31	mmf	10,10	mmf
	10,10	m	9,98	m	9,98	m	4,98	m
	4,98	d	4,98	d	4,98	d	—	—
Hor. C < 2 μ	14,24	mmf	16,98	mmf	18,31	mmf	10,10	mmf
	10,10	m	10,10	m	10,10	m	4,98	m
	4,98	d	4,98	d	4,98	d	—	—
Hor. Ap 2-10 μ	14,24	f	16,80	f	18,31	f	—	—
	9,98	mmf	9,98	mmf	9,98	mmf	9,98	mmf
	4,98	m	4,98	m	4,98	m	4,98	m
Hor. Ap/C 2-10 μ	14,24	f	16,80	f	18,31	f	—	—
	9,98	mmf	9,98	mmf	9,98	mmf	9,98	mmf
	4,98	m	4,98	m	4,98	m	4,98	m
Hor. C 2-10 μ	14,24	f	16,80	f	18,31	f	—	—
	9,98	mmf	9,98	mmf	9,98	mmf	9,98	mmf
	4,98	m	4,98	m	4,98	m	4,98	m

mmf = muy muy fuerte ; mf = muy fuerte ; f = fuerte ; m = media ; d = débil.

partículas de 100-200 micras, se caracteriza por una gradual disminución de mica al descender en el perfil, llegando a ser nula en el horizonte C.

La fracción comprendida entre 48-100 micras posee más agregados de hierro en el horizonte superficial que en los dos restantes. En el horizonte Ap existe algún circón como mineral accesorio, siendo su abundancia bastante mayor en el horizonte Ap/C y nula en el C. Aparecen algunas cloritas en el Ap que disminuyen con la profundidad, así como algunas micas más o menos alteradas del tipo illita, siendo estas últimas más abundantes en el horizonte Ap/C. Por último, dentro de esta fracción, son más abundantes los agregados de hierro y el cuarzo en el horizonte más superficial.

TABLA VI

*Análisis mineralógico*

Minerales	Horizonte Ap			Horizonte Ap/C			Horizonte C		
	20 - 48 $\mu$	48 - 100 $\mu$	100-200 $\mu$	20 - 48 $\mu$	48 - 100 $\mu$	100-200 $\mu$	20 - 48 $\mu$	48 - 100 $\mu$	100-200 $\mu$
Agreg. hierro ... ..	a	a	a	c	c	c	c	c	a
Clorita ... ..	p	c	—	p	p	—	p	—	—
Circón ... ..	r	p	—	c	c	—	—	—	—
Cuarzo ... ..	a	a	a	a	c	c	c	c	p
Granate ... ..	r	—	—	—	—	—	—	—	—
Mica ... ..	—	p	c	c	c	p	p	—	—
Rutilo ... ..	p	—	—	—	—	—	—	—	—
Turmalina ... ..	r	—	—	—	—	—	—	—	—

Escała de Tyler y Marden: a = abundante; c = común; p = presente; r = raro.



La fracción más fina, 20-48 micras, se caracteriza por contener en el horizonte Ap, a diferencia de los dos restantes, alguna turmalina, además de granate y rutilo. El cuarzo abunda en los dos horizontes superficiales y los agregados de hierro más en el Ap. La clorita se distribuye muy uniforme entre los tres horizontes, y la mica de tipo ilítico se acumula en el horizonte intermedio. Finalmente, por lo que respecta al circón dentro de esta misma fracción, es en el horizonte Ap/C donde se presenta con mayor profusión.

Como puede verse claramente de los datos anteriores, la abundancia de minerales es mayor en las fracciones más finas, presentándose en ellas una disminución a medida que se desciende en el perfil.

### *Elementos-traza*

De la observación de las tablas VII, VIII y IX se deduce que los elementos plata, arsénico, berilio, bismuto, cadmio, cobalto, germanio, mercurio, indio, molibdeno, antimonio, estaño, torio, talio y wolframio, no han sido detectados, lo que hace suponer que no se encuentran presentes en este suelo o bien que sus concentraciones caen por debajo del límite de sensibilidad del método utilizado.

De acuerdo con los valores dados por la bibliografía (9 y 10), este perfil presenta un contenido bajo en elementos-traza, salvo en el caso de vanadio, itrio y estroncio, con valores medios. El perfil se caracteriza por su homogeneidad en cuanto a la distribución de elementos-traza entre sus horizontes. La roca madre es pobre en elementos, siendo sus valores en general, más bajos que los horizontes del suelo, salvo en el caso del estroncio posiblemente debido a la existencia de una mayor cantidad de carbonatos y a la posible presencia de algo de yeso.

A pesar de la homogeneidad en la distribución de elementos-traza a lo largo del perfil, existen algunas diferencias, la mayoría de las cuales no llegan a ser significativas teniendo en cuenta el error del método; así tenemos que la mayor concentración de cobre, galio y rubidio se presenta en el horizonte superior. El aumento del cobre lo atribuimos a un posible tratamiento fungicida cúprico de las plantas que crecen sobre este suelo, dando lugar a una contaminación superficial. Los elementos bario, plomo y zirconio presentan un valor algo más elevado en el horizonte inferior, mientras cromo y níquel permanecen constantes.

Veamos a continuación la distribución de cada uno de los elementos entre las distintas fracciones, así como el contenido total de aquellos en cada una de éstas. Dicho contenido total, expresado en gramos por tonelada de suelo, se representa en escala logarítmica en las gráficas 1 y 2. Para ello, el valor obtenido para la concentración del elemento se

TABLA VII

Horizonte A<sub>p</sub>. Contenido en elementos-traza del suelo y sus distintas fracciones  
(p. p. m.)

Elemento	Fracciones (micras)								Suelo
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	150	150	250	250	400	150	40	40	150
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	30	15	15	6	3	6	6	30	20
Cu	10	10	1	< 1	< 1	> 1	6	1	10
Ga	10	< 1	2	> 1	—	—	—	—	5
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—
La	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	—	—	—	> 30
Li	15	15	6	3	> 1	> 1	> 1	> 1	10
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	125	125	125	125	80	60	80	300	100
Ni	20	—	8	—	—	—	10	8	10
Pb	15	3	15	3	3	2	4	6	3
Rb	60	—	30	—	—	—	—	—	30
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	200	300	300	600	600	250	150	100	250
Th	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	100	150	100	200	250	200	150	100	150
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	60	60	80	60	—	30	40	—	60
Zr	80	30	150	100	—	—	20	—	50

TABLA VIII

Horizonte Ap/C. Contenido en elementos-traza del suelo y sus distintas fracciones  
(p. p. m.)

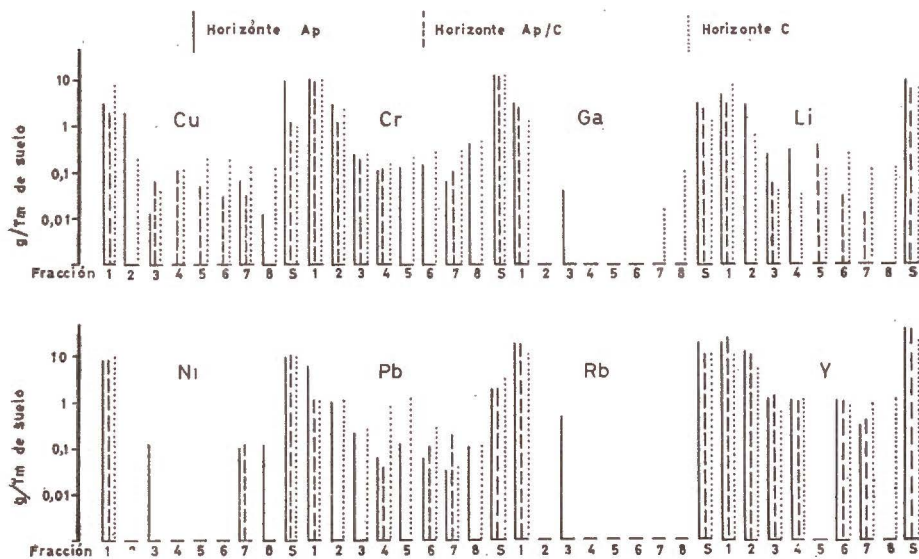
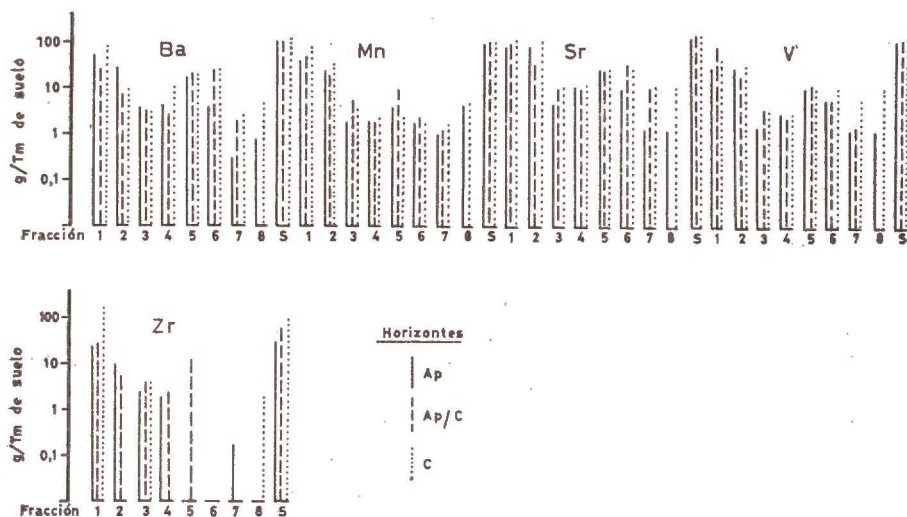
Elemento	Fracciones (micras)							Suelo
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	100	30	150	250	500	800	200	150
Be	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	20	6	8	10	—	—	8	20
Cu	6	< 1	2	6	1	1	3	2
Ga	8	—	—	—	< 1	—	—	4
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	10	< 1	2	< 1	8	1	1	8
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	150	100	200	150	150	80	150	125
Ni	20	—	—	—	—	—	15	12
Pb	4	< 3	> 3	3	> 3	3	20	3
Rb	30	—	—	—	—	—	—	15
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	250	200	300	600	600	1.000	800	300
Th	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—
V	200	100	150	200	300	150	200	200
W	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	80	40	60	60	—	20	40	60
Zr	100	25	150	200	200	—	—	80

TABLA IX

Horizonte C. Contenido en elementos-traza de la roca, suelo y sus distintas fracciones  
(p. p. m.)

Elemento	Fracciones (micras)								Suelo	Roca
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390		
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	200	40	200	600	600	1.000	150	150	200	50
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	25	15	15	10	6	10	15	15	20	20
Cu	20	1	2	6	6	6	8	4	1	> 1
Ga	3	< 1	—	—	—	< 1	1	3	2	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	20	3	2	2	3	8	4	4	8	6
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	200	200	200	150	80	60	100	150	150	60
Ni	25	—	—	—	—	—	—	—	10	—
Pb	3	4	15	40	40	10	2	4	5	—
Rb	30	—	—	—	—	—	—	—	15	30
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	400	600	600	800	800	1.000	600	300	300	800
Th	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	150	200	200	200	300	300	250	300	200	125
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	25	25	30	60	—	20	30	30	30	—
Zr	600	—	200	—	—	—	—	60	100	—





ha multiplicado por el correspondiente porcentaje de la fracción a la que pertenece, dividiendo el resultado obtenido por 100. En las mencionadas gráficas las fracciones van numeradas del 1 al 8, en orden creciente de tamaño de partícula, y S corresponde al horizonte correspondiente sin fraccionar. Como se hizo constar en un trabajo anterior (5), esta representación permite comprobar los resultados analíticos obtenidos para cada una de las fracciones del suelo separadamente.

### *Bario*

Se aprecia una clara acumulación en las fracciones comprendidas entre 20-200 micras.

En cuanto a la contribución al total, como puede apreciarse en la gráfica 1, el aporte de este elemento por parte de las fracciones intermedias es elevado. La arcilla suministra bastante debido al «peso» que representa esta fracción. Las fracciones gruesas son, en general, las que contribuyen en menor cuantía al total del suelo.

### *Cromo*

Se acumula en general en las fracciones más pequeñas; sin embargo, en la fracción arena del horizonte Ap vuelve a aumentar la concentración, hecho relacionado con la existencia en este horizonte de algún granate y bastantes agregados de hierro. La arcilla es la que presenta el mayor contenido; ahora bien, es difícil atribuir a los minerales de esta fracción dicho comportamiento, creyendo que se acumula en ella a consecuencia de la existencia de abundantes geles de hierro que se separan junto con la arcilla. Es, por tanto, en aquellas fracciones conteniendo Fe (III) donde es fácil la sustitución de éste por cromo, dada su similitud en lo que respecta a radio y potencial iónico. Otro tanto puede decirse de los minerales presentes en las arenas, como son agregados de hierro y granate.

La arcilla y limo presentan la mayor contribución al total del suelo (gráfica 2).

### *Cobre*

Presenta su mayor contenido en la arcilla, si bien, como antes se ha dicho, parece que ha habido un aporte externo de este elemento que nos hace no poder entrar en disquisiciones sobre el mismo.

En cuanto a la contribución al total es la misma fracción arcilla la que más aporta (gráfica 2).

### *Galio*

La arcilla es la fracción más rica en este elemento; sin embargo, en el horizonte más profundo la fracción arena gruesa tiene una riqueza comparable a la arcilla.

El galio total del suelo está casi en su totalidad acumulado en la arcilla, como se aprecia en la gráfica 2.

### *Litio*

Se concentra especialmente en la arcilla, siendo en este mismo sentido los aportes al total (gráfica 2).

### *Manganeso*

Las fracciones finas son las que presentan los valores más altos; ello indica que durante el proceso de erosión tiene lugar una cesión de manganeso presente en las arenas, el cual probablemente se insolubiliza en forma de óxidos insolubles impregnando las partículas ligeras o incorporándose a la red cristalina de los minerales de la arcilla o como manganeso de cambio.

En el horizonte Ap la mayor concentración corresponde a la fracción mayor de 390 micras. En contra de lo que sería nuestro deseo no nos es posible razonar la causa de esta distribución, ya que no disponemos del análisis mineralógico de las arenas gruesas.

La contribución al contenido total del suelo es más importante en las fracciones de menor tamaño de partícula (gráfica 1).

### *Níquel*

La mayor concentración se da en las fracciones arcilla de todos los horizontes, así como en las gruesas de los superficiales.

La arcilla es la que más contribuye al total del suelo (gráfica 2).

### *Plomo*

Sigue una marcha irregular en cuanto a su distribución en las distintas fracciones, irregularidad que no podemos explicar a la vista de los minerales existentes en ellas. Los valores dados por los diversos autores también discrepan fuertemente (9, 10 y 11).

La contribución al total está también muy desigualmente distribuida, como se aprecia en la gráfica 2.

### *Rubidio*

Solamente ha sido detectado en la arcilla y en la fracción 10-20 micras del horizonte superior, lo que corresponde a la existencia en las mismas de minerales potásicos a cuyo elemento es al que esencialmente sustituye el rubidio.

En la arcilla es donde está el mayor potencial de este elemento, como se observa en la gráfica 2.

### *Estroncio*

Destaca la gran cantidad de este elemento en la roca sobre la que se asienta el mencionado suelo, lo cual no repercute en el contenido del mismo; esto era de esperar, dado que es un suelo de escaso desarrollo.

Aunque no es la arcilla la que presenta mayor concentración, sin embargo contribuye en gran cuantía al contenido total, ocurriendo lo mismo en el caso del limo. Hay una contribución importante al total del suelo por parte de las fracciones comprendidas entre 48-200 micras (gráfica 1).

### *Vanadio*

Se reparte bastante uniformemente entre las distintas fracciones.

En cuanto a la contribución al total, el mayor aporte es por parte de la arcilla y fracción 2-10 micras (gráfica 1).

### *Itrio*

En los dos horizontes más superficiales presenta una tendencia a concentrarse en las fracciones comprendidas entre menos de 2 y 48 micras, mientras que en el horizonte inferior lo hace de una manera más uniforme.

En cuanto a la contribución al total son las fracciones más finas las que más aportan (gráfica 2).

### *Zirconio*

Se distribuye irregularmente. Salta a la vista el anormal contenido de la fracción menor de 2 micras del horizonte C, cuyo valor es bastante



superior al total del suelo (gráfica 1). Creemos que la determinación de esta fracción está afectada de un error interferencial en el análisis espectrográfico realizado, habiéndose sumado a la intensidad de la línea del zirconio la propia de algún otro elemento.

## PERFIL II

### *Caracteres físicos y químicos*

Según los datos analíticos de la tabla XI este suelo se caracteriza por un relativo alto pH, con bastantes carbonatos, sin presentar prácticamente diferencias a través del perfil; posee un contenido bajo en materia orgánica, la cual decrece algo con la profundidad. Como se ve claramente a partir de los resultados de análisis mecánico, mostrados en la tabla X, posee un alto contenido en arcilla, la cual presenta poca diferencia para los distintos horizontes. Dadas estas características el contenido de elementos-traza de esta fracción tendrá mucha significación en el total del suelo.

TABLA X  
*Análisis mecánico*

Horizonte	Fracciones (micras)							
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390
	Porcentaje							
Ap	44,50	24,00	8,10	3,92	8,30	5,20	2,37	3,83
Ap/C	49,50	23,50	0,70	3,85	7,20	4,65	2,00	4,93
C	41,50	25,30	7,00	4,50	8,00	4,50	2,01	3,50

TABLA XI  
*Análisis químico*

Horizonte	pH	Mat. org. %	Carbonatos % CO <sub>2</sub>
Ap	7,1	1,08	22,12
Ap/C	7,4	1,00	20,29
C	7,1	0,95	21,78

### *Análisis mineralógico*

#### *Mineralogía de arcillas y limos*

A partir de los diagramas de difracción de rayos X, cuyos resultados resumidos se exponen en las tablas XII, XIII y XIV, se deduce la siguiente composición mineralógica:

*Arcillas.*—Mayor proporción de illita, seguida de montmorillonita y caolinita. La proporción de montmorillonita aumenta en el horizonte C.

*Limos.*—Esta fracción presenta características similares a las arcillas en cuanto a los minerales presentes, siendo mayor la abundancia de mica; es además de destacar que en los diagramas de agregados orientados tratados con etilenglicol, glicerol o tras calentamiento a 300° C persiste una débil difracción cercana a 14 Å propia de los minerales cloríticos que queda asimismo confirmada por la presencia de la 4,70 Å en los diagramas de polvo. Se presenta cuarzo abundante y algo de feldespatos.

#### *Mineralogía de arenas*

El horizonte superior Ap se caracteriza por contener algunos agregados de hierro y abundante cuarzo en la fracción 20-48 micras, el cual disminuye apreciablemente en las demás, existiendo rutilo en esta fracción, pero no en las otras; asimismo están presentes biotita, sericita, magnetita de inclusión y turmalinas, pero estando estas últimas en menor proporción que en la fracción de 48-100 micras. Esta última fracción se caracteriza además por contener circón, augita y bastantes micas. La fracción de 100-200 micras posee solamente agregados de hierro, algún cuarzo y poca mica. Se observan asimismo cloritas en las dos fracciones más finas de las estudiadas.

En el horizonte Ap/C existen rutilos, circón, turmalina, algunas cloritas que están degradadas a cloritoides. Las micas son moscovitas más o menos alteradas. Se puede señalar la existencia de augita y bastante cuarzo. Epidotas se encuentran concentradas en la fracción de 48-100 micras. Como minerales accesorios se presenta augita y andalucita. No se han estudiado los minerales de la fracción de 100-200 micras de este horizonte.

En el horizonte C, la fracción de 100-200 micras contiene muchísimos agregados de hierro, algún cuarzo, así como calcedonia. En la fracción de 48-100 micras existen pocos agregados de hierro, así como cuarzo y mica en una proporción media. Esta fracción se caracteriza por con-

TABLA XII

*Fraciones arcilla. Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X.  
Método de polvo*

Horizonte Ap		Horizonte Ap/C		Horizonte C	
dA	I/I <sub>0</sub>	dA	I/I <sub>0</sub>	dA	I/I <sub>0</sub>
16,80	6	16,80	6	16,80	7
9,98	5	9,98	4	9,98	5
7,10	5	7,10	2	7,10	3
4,98	3	4,98	1	4,98	2
4,47	5	4,47	7	4,48	6
4,26	4	4,26	3	4,26	2
3,56	4	3,57	2	3,57	1
3,34	10	3,34	10	3,34	10
3,20	2	3,20	1	3,20	2
2,98	2	2,98	1	2,99	2
2,86	2	2,86	1	2,86	1
2,56	8	2,56	6	2,68	1
2,45	2	2,45	3	2,56	6
2,38	2	2,37	2	2,45	2
2,28	1	2,13	4	2,38	2
2,24	1	1,99	4	2,29	1
2,13	4	1,81	4	2,24	1
1,99	5	1,66	2	2,13	3
1,81	4	1,54	3	1,99	3
1,70	2	1,50	6	1,81	3
1,66	2			1,54	3
1,54	3			1,50	4
1,50	6				

TABLA XIII

*Fraciones limo. Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X.  
Método de polvo*

Horizonte Ap		Horizonte Ap/C		Horizonte C	
dA	I/I <sub>0</sub>	dA	I/I <sub>0</sub>	dA	I/I <sub>0</sub>
16,80	1	16,80	1	16,80	1
14,14	1	14,14	1	14,14	1
9,98	3	9,98	3	9,98	3
7,10	1	7,10	1	7,10	1
4,97	1	4,70	1	4,99	1
4,70	1	4,46	4	4,70	1
4,46	4	4,26	5	4,47	3
4,26	5	4,11	1	4,26	4
3,48	1	3,47	1	3,52	1
3,34	10	3,34	10	3,34	10
3,20	1	3,20	1	3,20	2
2,97	1	2,98	1	2,98	2
2,56	4	2,86	1	2,86	1
2,45	4	2,56	5	2,56	3
2,38	1	2,45	4	2,45	3
2,27	3	2,38	1	2,28	2
2,24	1	2,28	3	2,24	1
2,13	4	2,13	3	1,99	3
1,97	2	1,98	2	1,82	4
1,81	4	1,81	4	1,66	2
1,66	2	1,66	2	1,54	4
1,54	4	1,54	4	1,50	2
1,50	3	1,50	3		



TABLA XIV

*Fracciones arcilla y limo. Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X*

Muestra	A. O.		A. O. + E. G.		A. O. + Glicerol		Polvo: 300° C	
	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>	d A	I/I <sub>0</sub>
Hor. Ap < 2 μ	14,14	f	16,80	f	18,31	f	—	—
	10,10	f	10,10	f	10,10	f	10,10	f
	7,10	m	7,10	m	7,10	m	7,10	m
Hor. Ap/C < 2 μ	14,14	f	16,80	f	18,31	f	—	—
	10,10	f	10,10	f	10,10	f	10,10	f
	7,10	m	7,10	m	7,10	m	7,10	m
Hor. C < 2 μ	14,14	mf	16,80	mf	18,31	mf	—	—
	10,10	f	10,10	f	10,10	f	10,10	f
	7,10	m	7,10	m	7,10	m	7,10	m
Hor. Ap 2-10 μ	14,14	m	16,80	m	18,31	mf	13,98	d
	—	—	14,14	d	14,14	d	—	—
	10,10	mmf	10,10	mmf	10,10	f	10,10	f
Hor. Ap/C 2-10 μ	7,10	m	7,10	m	7,10	m	7,10	m
	14,14	m	16,80	d	18,31	d	13,98	d
	—	—	14,14	d	14,14	d	—	—
Hor. C 2-10 μ	10,10	mmf	10,10	mmf	10,10	mmf	10,10	f
	7,10	m	7,10	m	7,10	m	7,10	m
	14,14	m	16,80	m	18,31	m	13,98	d

mmf = muy muy fuerte; mf = muy fuerte; f = fuerte; m = media; d = débil.

tener bastante rutilo y, como minerales accesorios, turmalina, granate y biotita.

El rutilo es relativamente abundante en la fracción de 20-48 micras del horizonte Ap, no habiendo sido encontrado en las otras fracciones; sin embargo, en los horizontes Ap/C y C existe, además, este mineral en la fracción de 48-100 micras. No se han estudiado los minerales de la fracción 20-48 micras de este último horizonte.

TABLA XV

*Análisis mineralógico*

Minerales	Horizonte Ap			Horizonte Ap/C		Horizonte C	
	20-48 $\mu$	48-100 $\mu$	100-200 $\mu$	20-48 $\mu$	48-100 $\mu$	48-100 $\mu$	100-200 $\mu$
Agreg. hierro ... ..	p	p	p	r	p	p	a
Andalucita ... ..	—	—	—	—	r	—	—
Augita ... ..	—	r	—	r	r	—	—
Biotita ... ..	r	—	—	r	—	r	—
Calcedonia ... ..	—	—	—	—	—	—	r
Circón ... ..	—	r	—	r	r	r	—
Ciorita ... ..	r	r	—	r	p	—	—
Cuarzo ... ..	a	p	p	a	p	p	p
Epidota ... ..	—	—	—	—	p	—	—
Granate ... ..	—	—	—	—	r	r	—
Magnet. de inclusión.	r	—	—	—	—	—	—
Mica ... ..	—	p	r	p	p	p	—
Rutilo ... ..	p	—	—	r	p	p	—
Sericita ... ..	r	—	—	—	—	—	—
Turmalina ... ..	r	p	—	r	p	r	—

Escala de Tyler y Marden: a = abundante; c = común; p = presente; r = raro.

### *Elementos-traza*

De la observación de las tablas XVI, XVII y XVIII se deduce que los elementos plata, arsénico, berilio, bismuto, cadmio, germanio, mercurio, indio, molibdeno, antimonio, estaño, torio, talio y wolframio no han sido detectados, lo que indica que sus concentraciones están por debajo del límite de sensibilidad del método utilizado (5).

#### *Bario*

El contenido medio del perfil es 317 ppm. El comportamiento de este elemento ofrece la característica de ser más elevado en el horizonte superior, decrece en el intermedio y crece nuevamente en el inferior, pero siendo, en suma, el horizonte superior el de mayor contenido. Las concentraciones de este elemento concuerdan con los valores indicados por Swaine (10). El descenso en Ap/C lo creemos explicable a través de la cantidad de carbonatos presentes en cada horizonte, existiendo una correlación entre aquéllos y el contenido en bario.

En cuanto a la distribución entre fracciones se observa claramente que la fracción arcilla es la más rica con bastante diferencia de las demás, lo que puede estar relacionado con la alta proporción en illita y montmorillonita.

La mayor contribución al total, según se deduce de la gráfica 4, la presenta la arcilla seguida de la fracción de 2-10 micras.

#### *Cobalto*

El contenido medio del perfil es 10 ppm. Este elemento se distribuye uniformemente en el perfil, siendo la fracción arcilla la única en que ha podido ser detectado, ya que está muy relacionado con los minerales de dicha fracción. La distribución uniforme a lo largo del perfil pensamos puede deberse a la poca profundidad del mismo, junto a su relativa homogeneidad.

Todo el contenido total proviene de la arcilla (gráfica 3).

#### *Cromo*

Presenta un contenido medio de unas 80 ppm, incrementándose con la profundidad.

En cuanto a la distribución entre fracciones, es la arcilla la que lo concentra en mayor cuantía, seguido aunque en menor proporción de

TABLA XVI

Horizonte Ap. Contenido en elementos-traza del suelo y sus distintas fracciones  
(p. p. m.)

Elemento	Fracciones (micras)								Suelo
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	800	300	100	150	150	100	100	100	450
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	20	—	—	—	—	—	—	—	10
Cr	150	40	30	25	10	8	8	20	70
Cu	3	3	2	< 1	< 1	1	< 1	< 1	1
Ga	15	2	1	—	1	—	—	—	6
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—
La	?	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	40	20	10	2	6	1	15	15	20
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	1.000	400	300	250	250	200	30	400	500
Ni	40	10	—	—	—	—	—	—	20
Pb	30	3	10	6	6	2	2	6	6
Rb	200	80	30	3	—	—	—	—	125
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	2.000	1.000	3.000	3.000	3.000	1.500	3.000	2.000	2.000
Th	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	200	250	200	200	300	250	400	300	200
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	25	—	—	—	—	—	—	—	20
Zr	100	150	100	300	—	400	—	—	200



TABLA XVII

Horizonte Ap/C. Contenido en elementos-traza del suelo y sus distintas fracciones  
(p. p. m.)

Elemento	Fracciones (micras)								Suelo
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	400	150	200	200	100	150	60	100	200
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	20	—	—	—	—	—	—	—	10
Cr	150	30	20	15	10	10	15	10	80
Cu	10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	—	> 1	< 1
Ga	25	3	3	< 1	< 1	—	< 1	> 1	9
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—
La	?	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	40	15	4	4	< 1	< 1	< 1	8	20
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	2.500	300	300	200	80	250	100	200	1.500
Ni	30	10	10	—	—	—	—	—	25
Pb	40	3	10	3	6	3	3	3	6
Rb	200	40	30	30	1	—	2	30	125
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	3.160	2.500	2.000	2.500	2.500	2.500	2.000	3.500	2.500
Th	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	250	100	100	250	250	200	100	150	200
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	30	—	30	—	—	—	—	—	20
Zr	200	40	250	400	300	300	—	100	150

TABLA XVIII  
 Horizonte C. Contenido en elementos-traza del suelo y sus distintas fracciones  
 (p. p. m.)

Elemento	Fracciones (micras)								Suelo
	< 2	2-10	10-20	20-48	48-100	100-200	200-390	> 390	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	600	200	150	100	200	200	100	100	300
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	20	—	—	—	—	—	—	—	10
Cr	150	100	30	60	20	15	20	10	100
Cu	3	3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	> 1	2
Ga	20	4	20	4	4	—	—	—	10
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—
La	?	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	60	20	6	3	4	1	20	1	25
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	2.000	2.000	400	400	300	600	400	150	1.500
Ni	40	20	10	20	—	3	4	—	27
Pb	30	30	10	200	150	80	60	15	10
Rb	600	80	60	60	—	—	—	—	250
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	3.000	2.000	3.000	2.000	4.000	3.000	3.000	200	3.000
Th	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	150	400	200	200	200	100	100	200	300
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	20	30	30	40	—	—	—	—	30
Zr	100	150	150	100	—	—	—	—	60

la fracción 2-10 micras. En el resto de las fracciones se distribuye más o menos regularmente, pero en bastante menor cuantía que en las anteriores.

La mayor contribución al total proviene de la arcilla y en general está en razón inversa al tamaño de partícula.

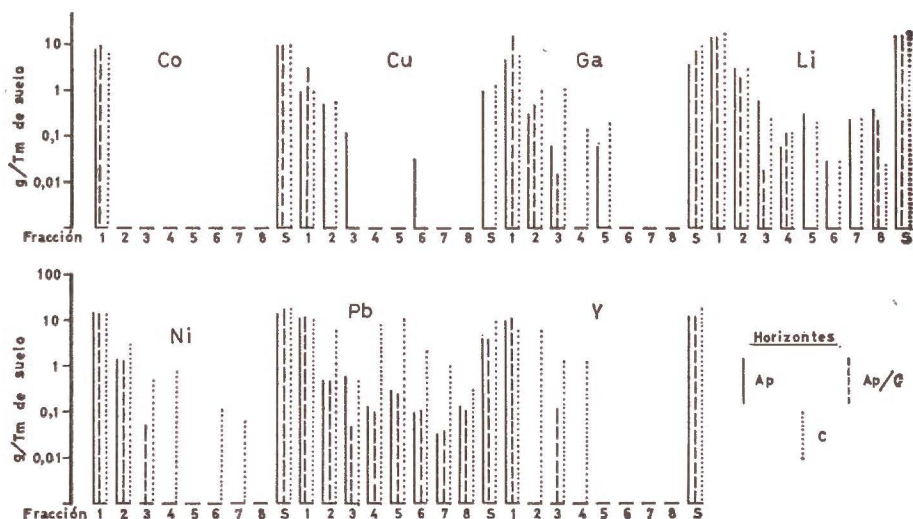


Gráfico 3.—Contenido total de Cobalto, Cobre, Galio, Litio, Níquel, Plomo e Itrio

### Cobre

El contenido medio es de 1 ppm. Parece que presenta una mayor concentración en razón inversa a su contenido en materia orgánica. Se concentra en la arcilla fundamentalmente (gráfico 3).

### Galio

El contenido medio del perfil es bajo, 8 ppm. Su concentración se incrementa ligeramente al descender en el perfil, lo que pensamos puede estar relacionado con la disminución de materia orgánica, que da lugar a un lavado del elemento en los horizontes más superficiales. Se observa en todos los horizontes que es en la fracción arcilla en la que se concentra este elemento apareciendo un brusco descenso en las demás fracciones.

El galio total del suelo está prácticamente acumulado en las fracciones más finas y de manera especial en la arcilla (gráfico 3).

### *Lantano*

No se puede indicar nada acerca del contenido de lantano de la fracción arcilla, ya que aparece una sombra en la región del espectro donde se investiga este elemento. En todas las demás fracciones no existe.

### *Litio*

El contenido medio del perfil es de alrededor de 21 ppm, apreciándose un ligero incremento con la profundidad que prácticamente no tiene significación.

En cuanto a la distribución entre fracciones, se concentra bastante en la arcilla seguida del limo. Este hecho indica que durante el proceso de erosión tiene lugar una cesión del litio, incorporándose a la red cristalina de los minerales propios de las arcillas y limos o situándose en posiciones de cambio de estos minerales.

Son las fracciones finas, en especial la arcilla, las que más contribuyen al contenido total (gráfica 3).

### *Manganeso*

El contenido medio de este elemento en el perfil es muy elevado: 1.170 ppm. La más baja concentración corresponde al horizonte superficial, permaneciendo los otros constantes. El incremento tan considerable en estos horizontes no podemos justificarlo con los datos de que disponemos.

Se acumula preferentemente en las fracciones arcilla y la 2-10 micras del horizonte C.

La contribución al total es mayor por parte de las fracciones más finas (gráfica 4).

### *Níquel*

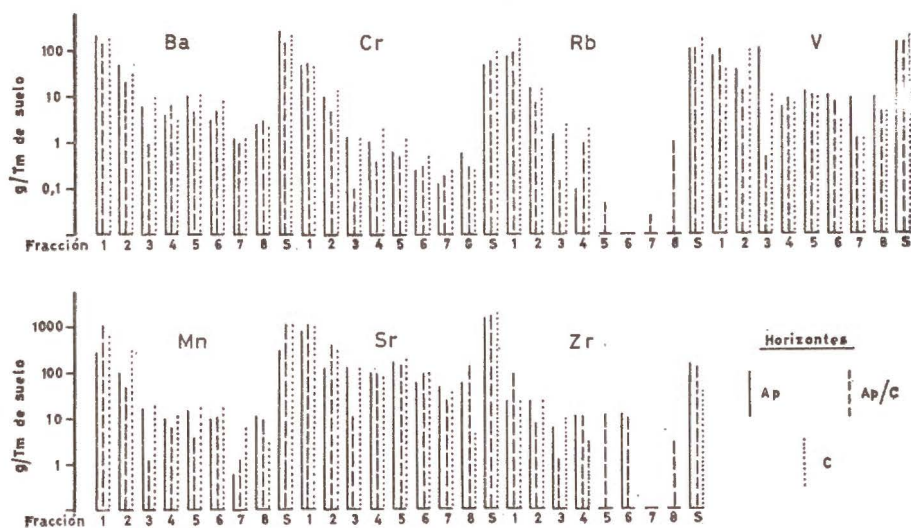
El contenido medio es de 24 ppm, permaneciendo casi constante a lo largo del perfil, aunque puede observarse un ligero incremento al descender en el mismo; se acumula en las fracciones finas y de manera especial en la arcilla.

La mayor contribución al total proviene de las fracciones más finas (gráfica 3).



### Plomo

El contenido medio de este elemento en el perfil es de 7 ppm. Como puede apreciarse en la tabla XVIII sigue un comportamiento irregular, apareciendo cantidades que consideramos excesivamente elevadas en algunas fracciones del horizonte C. No descartamos la posibilidad de que exista algún efecto interferencial. En los otros dos horizontes se concentra en la fracción arcilla, hecho que induce a pensar que son los minerales de esta fracción los que lo poseen retenido en su estructura



Gráfica 4. —Contenido total de Bario, Cromo, Rubidio, Vanadio, Manganeso, Estroncio y Zirconio

### Rubidio

El contenido medio del perfil —167 ppm— es más alto que los valores dados para los suelos por Vinogradov (9) —de 10 a 100 ppm—, estando situados, en cambio, entre los valores extremos dados por McMurtrey y Robinson (12). Aumenta su concentración en el horizonte C, lo que posiblemente sea debido a algún enriquecimiento parcial de algún mineral potásico en que haya sido sustituido el potasio por este elemento, aunque no ha sido posible verlo en el análisis mineralógico.

La fracción arcilla es donde se presenta el mayor contenido, siendo esta misma fracción la que más contribuye al contenido total (gráfica 4).

### *Estroncio*

El contenido en estroncio de este perfil presenta un valor anormalmente alto, 2.500 ppm, aumentando con la profundidad. Este hecho está relacionado con la presencia de yeso en este suelo, aumentando con la profundidad, como era de esperar, al aproximarse a la marga yesífera.

Su distribución es bastante uniforme; al contrario de lo que ocurre con los restantes elementos-traza, éste no se encuentra sistemáticamente acumulado en las fracciones más finas, sino que presenta una distribución irregular que viene condicionada por la presencia de minerales en los que puede estar presente con una mayor facilidad; este hecho se da especialmente, en aquellos minerales en que entran como constituyentes los elementos calcio y potasio en los que, por razones dimensionales con relación a sus respectivos radios iónicos, puede entrar a sustituirle el ión estroncio. Entonces, puesto que dichos minerales se encuentran muy distribuidos entre las distintas fracciones, consideramos que es la causa fundamental, aparte de otras de tipo químico, de esta irregular distribución.

Aunque la fracción arcilla no es la que presenta una mayor concentración, en cambio contribuye en gran cuantía al contenido total, debido al elevado porcentaje de esta fracción (gráfica 4).

### *Vanadio*

Su contenido medio es muy alto, 233 ppm, aumentando apreciablemente en el horizonte inferior. Es muy probable que esto esté relacionado con el carácter de marga yesífera de este horizonte, donde es común la inclusión de rutilo, mineral donde se puede dar por segura la presencia de vanadio.

La distribución entre fracciones resulta un tanto irregular en los tres horizontes del perfil.

Por lo que respecta a la contribución al total es la arcilla seguida del limo las que más aportan (gráfica 4).

### *Itrio*

Su contenido medio es bastante bajo, 23 ppm; este valor está dentro de los márgenes dados por la bibliografía para otros tipos de suelos, es decir próximo al límite de sensibilidad del método espectrográfico, si bien se incrementa algo en el horizonte más profundo.

### *Zirconio*

El contenido medio es de 137 ppm, correspondiendo la mayor concentración al horizonte superficial y encontrándose irregularmente distribuido entre las distintas fracciones de los tres horizontes estudiados.

Presentan las fracciones finas una contribución preferente al total (gráfica 4).

### CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto se deduce que el perfil I presenta bastante homogeneidad en cuanto a la distribución de elementos-traza en el perfil. Los valores medios, para la mayoría de los elementos, son bajos, lo cual está de acuerdo con la naturaleza del material de origen.

La arcilla es, en general, la que presenta una mayor acumulación en elementos. Se presentan varias excepciones entre las que destacan: el bario que se acumula en la fracción 48-100 micras del primer horizonte y en la 100-200 micras de los dos inferiores. El plomo lo hace irregularmente, el vanadio se distribuye bastante uniformemente, el níquel lo hace, además de en la arcilla, en las fracciones gruesas de los dos horizontes más superficiales y el itrio que se distribuye bastante uniformemente en el horizonte inferior.

El perfil II presenta unos contenidos bajos para los elementos cobre, galio, plomo, itrio y zirconio; medios para bario, cobalto, cromo, litio, níquel y rubidio; sin embargo, el manganeso, vanadio y estroncio son muy altos, principalmente este último, debido al carácter de marga yesífera de la que proviene este suelo. Asimismo podemos indicar que salvo el bario que se concentra en el horizonte superficial, el zirconio que lo hace en el intermedio y el cobalto que permanece constante, el resto de los elementos se concentran en el inferior en mayor o menor escala, si bien en muchos casos el incremento no llega a ser significativo dado el error del método.

La arcilla es, en general, la que presenta una mayor acumulación en la mayoría de los elementos, exceptuándose el estroncio que presenta una distribución bastante regular condicionada por la presencia de minerales en los que puede estar presente, el vanadio del horizonte Ap que lo hace en las fracciones gruesas y en el horizonte inferior que lo hace en la fracción de 2-10 micras y, por último, el zirconio que presenta una distribución irregular.



## RESUMEN

Se determina espectrográficamente el contenido total semicuantitativo de los elementos Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Hg, In, La, Li, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Th, Tl, V, W, Y y Zr en los tres horizontes de dos suelos rendsinas.

Por otra parte, cada horizonte se divide en ocho fracciones: < 2, 2-10, 10-20, 20-48, 48-100, 100-200, 200-390 y > 390 micras, estudiando el contenido de elementos-traza en cada uno separadamente.

El estudio mineralógico de las diferentes fracciones se ha llevado a cabo para relacionar, en lo posible, la presencia de cada elemento con la existencia de los minerales correspondientes.

Los resultados muestran la contribución al total del suelo de cada fracción para cada uno de los elementos estudiados.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BUTLER, R. J. (1954). *J. Soil Sci.*, 5, 156-166.
- (2) PELISEK, J. (1956). *Zasotsial. s.-kh. Nauku A 5*, núm. 3, 270-273.
- (3) SWAINE, D. J. y MITCHELL, R. L. (1960). *J. Soil Sci.*, 11, 347-368.
- (4) DOBRITSKAYA, YN. I., ZHURAVLEVA, M. G., ORLOVA, L. P. y SHIRINSKAYA, M. G. (1962). *Mikroelementy v. Sel'sk Khoz. i Med., Ukr. Nauchn.- Issled. Inst. Fiziol. Rast. Akad. Nauk Ukr. SSR, Materialy 4-go (Chetvertogo) Vses. Soveshch., Kiev*, 391-397.
- (5) MAQUEDA, C., LACHICA, M., DELGADO, M. y PÉREZ RODRÍGUEZ, J. L. (1974). *An. Edaf. y Agrobiol.*, 33, 407-425.
- (6) LACHICA, M., MAQUEDA, C., PÉREZ RODRÍGUEZ, J. L. y AGUILAR, J. (1974). *An. Edaf. y Agrobiol.*, 33, 599-629.
- (7) MAQUEDA, C., LACHICA, M., DELGADO, M. y PÉREZ RODRÍGUEZ, J. L. (1974). *An. Edaf. y Agrobiol.*, 33, 663-678.
- (8) LACHICA, M., MAQUEDA, C., PÉREZ RODRÍGUEZ, J. L. y DELGADO, M. *An. Edaf. y Agrobiol.* (En prensa.)
- (9) VINogradov, A. P. (1938). *Adv. Chem., Moscow* 7, 645-686.
- (10) SWAINE, D. J. (1955). *The trace-element content of soils*, Ed. Commonwealth Bureau of Soil Science technical comm., núm. 48.
- (11) MITCHELL, R. L. (1944). *Proc. Nutr. Soc.*, 183-189.
- (12) McMURTREY, J. E. y ROBINSON, W. O. (1938). *Yearb. U. S. Dep. Agric.*, 807-829.



## NOTAS

### REUNION DE LA JUNTA DE GOBIERNO DEL PATRONATO «ALONSO DE HERRERA» EN SEVILLA

La primera reunión de la Junta de Gobierno del Patronato «Alonso de Herrera», en el año 1976, ha tenido lugar en los locales del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto (Sevilla). Aprovechando esta circunstancia, y con independencia de tratar el orden del día ordinario, la Junta tuvo ocasión de escuchar un detenido y realista informe del Director de dicho Centro, don Francisco González García, sobre las tareas del mismo y sus posibilidades futuras, al propio tiempo que subrayaba los problemas más importantes que sobre el mismo gravitan y los factores que limitan o condicionan su desarrollo.

La Junta visitó detenidamente el Centro instalado en el Cortijo de Cuarto, propiedad de la Diputación Sevillana, poniéndose en contacto con los investigadores para conocer de modo directo sus líneas de trabajo y resultados obtenidos. Por la tarde se visitó la finca que posee el Centro en la localidad de Coria del Río, constatando la buena marcha de los trabajos en ella realizados, bondad de las instalaciones, experiencias en invernaderos y parcelas, etc. La impresión de las visitas a Centro y finca experimental debe subrayarse que fue inmejorable, ratificándose la excelente idea que sobre el funcionamiento del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto se tenía.

### VISITA A LA ESTACION BIOLOGICA DE DOÑANA

Como continuación a los actos anteriores, la Junta de Gobierno del Patronato dedicó la fecha siguiente a visitar las instalaciones de la Estación Biológica de Doñana, en Sevilla, para seguidamente recorrer las Marismas del Guadalquivir, y con especial detención los terrenos de la Estación en Doñana.

Se tuvo ocasión de comprobar las singulares características de la finca, para cuyo conocimiento y conservación tantos esfuerzos están realizando los científicos allí destacados. Es de justicia reconocer que la contribución de los mismos a profundizar en el conocimiento de la Ecología de esta zona, en sus diferentes áreas, ha sido y es, extraordinaria. Realmente el futuro de Doñana se veía muy seriamente comprometido sin la benemérita labor de estos hombres, que están haciendo

frente además a diversas iniciativas que amenazan la integridad de esta privilegiada zona y a la conservación de las especies que en ella existen.

#### ACTOS EN HOMENAJE A JOSE MARIA ALBAREDA

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Instituto de Edafología y Biología Vegetal (Madrid) han organizado los actos que se celebrarán con motivo del décimo aniversario del fallecimiento del Excmo. Sr. D. José María Albareda Herrera.

Los actos tendrán lugar el día 25 de marzo, y consistirán en los siguientes:

17,30. Funeral en la Iglesia del Espíritu Santo, del C. S. I. C. (Serrano, 125).

18,40. Acto Académico en el Salón de Actos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Serrano, 117).

20,00. Descubrimiento de una lápida en el Instituto de Edafología y Biología Vegetal (Serrano, 115, duplido.).

En el acto académico están previstas las siguientes intervenciones:

1. Presentación.
2. «El Profesor», por el Prof. D. Lorenzo Vilas López.
3. «Investigación Científica personal», por el Prof. D. Angel Hoyos de Castro.
4. «Maestro de Investigadores», por el Prof. D. Gonzalo Giménez Martín.
5. «Organización de la Investigación Científica», por el Prof. Don Enrique Gutiérrez Ríos.
6. «Relaciones con el extranjero», por el Prof. D. Stephane Henin.
7. «El hombre», por el Prof. D. José Manuel Casas Torres.
8. Clausura del Acto.

#### INVITACIONES A PROFESORES EXTRANJEROS

Por iniciativa del Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia se ha propuesto sea cursada invitación al Prof. Dr. Jochengleinschmidt, director del Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Abteilung Forstpflanzzüchtung, y al Prof. Dr. H. Ziegler, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Deutsche Botanisches Gesellschaft, Munich (República Federal de Alemania), para que se trasladen a dicho Centro a pronunciar varias conferencias sobre temas de su especialidad, y tomar parte activa en la discusión de diversos trabajos en curso en dicho Centro.

## CICLO DE CONFERENCIAS

El investigador científico D. Carlos Cadahía López, del Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid, ha dado un ciclo de conferencias, invitado por el Cabildo Insular de Gran Canaria, del 16 al 20 de febrero, sobre el tema: «El diagnóstico analítico en la nutrición de los cultivos» en la Granja Agrícola Experimental de Las Palmas de Gran Canaria.

En los correspondientes coloquios se puso de manifiesto la gran importancia que tienen los contactos personales entre los investigadores y los técnicos responsables del asesoramiento directo al agricultor para poder utilizar los trabajos de investigación que de otra forma difícilmente llegan a ser aplicados en el campo.

## AUTORIZACIONES PARA TRASLADARSE AL EXTRANJERO

Por el Patronato «Alonso de Herrera» se informó favorablemente la petición de Don José Luis Labrandero Sanz, Titulado Técnico Especialista del Instituto de Edafología y Biología Vegetal, solicitando autorizaciones para trasladarse a U. S. A., durante seis meses, con objeto de realizar estudios sobre aplicación de los sensores remotos en el campo de la Edafología, en la Universidad de Purdue, Indiana, con beca concedida por el Centro de Investigación IBM (Universidad Autónoma de Madrid).

## CAMBIO DE SECRETARIO EN EL INSTITUTO DE ALIMENTACIÓN Y PRODUCTIVIDAD ANIMAL

Por renuncia de Don Eulalio Zaera Jimeno en el cargo de Secretario de dicho Instituto ha sido nombrado para sustituirle Don Antonio Paz Sáez, que ostenta la categoría de Investigador Científico en dicho Centro.

## REAL ACADEMIA DE FARMACIA

### *Concurso científico para 1976*

El concurso científico para 1976, de la Real Academia de Farmacia, ha sido convocado de acuerdo con las siguientes particularidades.

Premios para Farmacéuticos y cultivadores de ciencias afines de los países de lengua española y portuguesa

Se reciben trabajos hasta el 30 de octubre de 1976, a las diez de la noche.

## PREMIO DE LA ACADEMIA

Cien mil pesetas. Dos accésit de cincuenta mil pesetas. Tema: Libre, de investigación personal.

## PREMIOS DE LA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y FARMACÉUTICOS ABELLÓ, S. A.

Uno de cuarenta mil pesetas. Tema: Libre. Otro de veinticinco mil pesetas. Tema: Libre.

## PREMIO ANTIBIÓTICOS, S. A.

Teinta mil pesetas. Tema: Libre.

## PREMIO «FAES» (Fábrica Española de Productos Químicos y Farmacéuticos, S. A.)

Cincuenta mil pesetas. Tema: «Contaminación microbiana de formas farmacéuticas líquidas alcalinas y su control por medios químicos».

## PREMIO DEL INSTITUTO DE BIOLOGÍA Y SUEROTERAPIA «IBYS»

Veinticinco mil pesetas. Tema: Libre.

## PREMIO DE LOS LABORATORIOS ESPAÑOLES DE FARMACOLOGÍA APLICADA, «LEFA»

Treinta mil pesetas. Tema: «Contribución experimental al estudio químico o farmacológico de un medicamento o grupo de medicamentos».

## PREMIO ALTER, S. A.

Veinticinco mil pesetas. Tema: Libre, de investigación bioquímica.

## PREMIO ALBERTO COMENGE

Veinticinco mil pesetas. Tema: Libre, de investigación industrial.

## PREMIO SANTOS RUIZ

Abono de los derechos de un título de doctor a un doctorando que trabaje en la Facultad de Farmacia de Madrid, a propuesta de su claustro.



## PREMIO DEL COLEGIO OFICIAL DE FARMACÉUTICOS DE MADRID

Veinticinco mil pesetas. A la mejor labor científico-profesional de un farmacéutico de la provincia de Madrid, a propuesta del mismo Colegio.

## BASES GENERALES

1.<sup>a</sup> Podrán tomar parte en este concurso los farmacéuticos y los cultivadores de ciencias afines a la Farmacia de España, Portugal, América y Filipinas.

2.<sup>a</sup> Los trabajos serán originales e inéditos. Escritos en español o en portugués, según el premio: a máquina, a dos o tres espacios, en cuartillas o folios, por una sola cara y cosidos. Si se acompañan ilustraciones, irán incorporadas al texto, y no sueltas.

3.<sup>a</sup> *En la redacción se cuidará de lograr la mayor concisión posible, prescindiendo de consideraciones innecesarias y de copiar operaciones, cálculos y descripciones que estén ya publicados, consignando únicamente la cita de la obra donde consten. La bibliografía se limitará, en lo posible, a las obras consultadas y aludidas en el trabajo, pudiendo también consignar las obras que la contengan más extensa.*

*Se incluirá al principio un extracto en francés, inglés, alemán o italiano, de veinte líneas como máximo, y un sumario de los capítulos.*

4.<sup>a</sup> Los trabajos que se presenten a los premios se distinguirán con un lema de una sola palabra, escrita en la cubierta, con el nombre del premio a que aspira, que no podrá ser más que a uno solo.

El del autor y sus apellidos (sin iniciales ni abreviaturas), con su domicilio particular y número de teléfono, deberá incluirse en un sobre cerrado que tenga las mismas consignas antedichas. No se autoriza el uso de seudónimos.

5.<sup>a</sup> *Los concursantes enviarán cuatro copias del trabajo (debiendo quedarse ellos con otra exactamente igual) al Excelentísimo Señor Director de la Real Academia de Farmacia (Farmacia, 11, Madrid-4), donde se les entregará un recibo que servirá para retirar el original si no resulta premiado.*

6.<sup>a</sup> Los trabajos premiados *quedarán de propiedad de la Academia*, aunque el autor haya renunciado al premio. Podrán publicarse con la extensión que se crea conveniente, de acuerdo con el autor. Este *no podrá publicarlo por su cuenta sin autorización de la Academia.*

7.<sup>a</sup> Será declarado nulo el premio concedido a una memoria cuyo autor haya obtenido ya premio por el mismo o análogo trabajo.

8.<sup>a</sup> Los Académicos de Número no podrán concursar estos premios.

9.<sup>a</sup> Los originales no premiados podrán retirarse en el plazo de tres meses: pasada esta fecha serán destruidos.





## BIBLIOGRAFIA

FERNÁNDEZ, E. y TEJEDOR SALGUERO, M. L.: *Andosoles de las Islas Canarias*. Caja General de Ahorros de Santa Cruz de Tenerife, 1975.

El libro, de carácter monográfico, trata extensamente los andosoles de las Islas Canarias, en sus caracteres generales, físicos y químicos y su sistemática, tanto para los suelos que ostentan todas las características típicas de los andosoles como aquellos con propiedades «intergrado» entre los andosoles y otros grupos de suelos.

La aportación de los autores al conocimiento de los suelos de las Islas Canarias es importante y su exposición muy clara y comprensible. A la descripción morfológica acompañan fotografías en color (que permiten una mayor identificación del lector con el perfil), propiedades químicas, físicas y estudios micromorfológicos, así como la identificación de los minerales de la arcilla por espectros de rayos X, absorción infrarroja y microscopía electrónica.

En los diversos capítulos se estudian: Suelos intergrados andosol-tierra parda oligotrófica; Dystrandeps; andosoles poco diferenciados, vítricos, fuertemente desaturados y vitrandeps, aplicando a todos ellos los métodos de campo y las determinaciones de laboratorio necesarias para su identificación y clasificación.

La extensa bibliografía seleccionada será muy útil al lector interesado en estos tipos de suelos.

La aparición del libro, coincidiendo con la IV Reunión Anual de suelos, celebrada en Tenerife en septiembre de 1975, nos ha permitido constatar la exactitud y rigurosidad de los autores y el profundo conocimiento de los mismos sobre los suelos de las Islas Canarias.—F. GUTIÁN OJEA.





## NORMAS PARA LA COLABORACION EN «ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA»

1.ª *Envío*.—Los trabajos que se remitan para su publicación en ANALES DE EDAFOLOGÍA tendrán que ceñirse exactamente a las normas contenidas en los siguientes apartados, debiendo ser enviados a la Secretaría de la REVISTA para su registro. Se devolverán todos los recibidos que no cumplan los requisitos ordenados.

2.ª *Título*.—El título de los trabajos deberá ser muy claro y preciso, reflejando claramente su contenido. Seguidamente se indicará nombre y apellidos de los autores, Centro donde ha sido realizado y fecha de envío a la REVISTA.

3.ª *Resumen*.—Obligatoriamente los artículos deberán ir acompañados por un resumen, que con toda claridad señale el objeto del trabajo realizado, algún detalle experimental, si es fundamental para la correcta interpretación de los resultados, y las conclusiones obtenidas. Este resumen debe efectuarse en castellano, y añadirse la traducción al inglés. Además, si se desea, podrá incluirse la versión del mismo en francés, italiano o alemán.

4.ª *Redacción del texto y presentación*.—Se procurará que la redacción sea lo más concisa posible. Los trabajos deberán escribirse a máquina en doble espacio y por una sola cara, no sobrepasándose en extensión las 20 holandesas. Los autores podrán indicar, por si puede atenderse, el tamaño de la letra en la que crean conveniente se realice la impresión.

5.ª *Bibliografía*.—La bibliografía deberá reducirse a la verdaderamente indispensable, que tenga relación directa con la investigación efectuada, evitándose los comentarios extensos sobre las referencias mencionadas.

Dichas referencias se incluirán siempre a la terminación del trabajo, numeradas correlativamente y ordenadas por orden alfabético de apellidos de autores. En cada cita se consignarán, en este orden, los datos siguientes:

Apellidos e iniciales del autor. Año de la publicación a que se refiere la cita-título del trabajo citado. Título del trabajo. Nombre de la publicación —abreviada de acuerdo con las normas internacionales—, en cursiva, y tomo y página a que se refiera la nota.

Para efectuar la referencia de un libro se indicarán los siguientes datos: Apellido e iniciales del autor. Año de la edición. Título en idioma original. Tomo. Edición. Publicación (todo ello en forma similar a las citas de revistas).

6.ª *Tablas, gráficos y fotografías*.—Salvo excepciones, no deberán emplearse de forma simultánea tablas y gráficos.

El número de gráficos deberá limitarse todo lo posible. En general se recomienda la yuxtaposición de curvas que puedan ser referidas al mismo sistema de ejes coordenados.

El número de fotografías deberá igualmente limitarse, enviando sólo las que realmente —teniendo en cuenta la reproducción— sean útiles, claras e ilustrativas.

Los gráficos y dibujos vendrán dibujados sobre papel vegetal y con tinta china. En la publicación tendrán una anchura de 12 o de 6 cm., o sea, la correspondiente a una o media anchura de plana de nuestra publicación. Los autores deben señalar el tamaño que desean para sus gráficos o dibujos, y tener en cuenta que las escalas de reducción más convenientes son de 2 a 1 y de 3 a 1. Los rótulos y signos de los mismos deberán ser de tal tamaño que su altura, una vez reducida, no sea inferior a 1,5 mm.

Cada gráfico deberá acompañarse de un número de orden, reproducido en el texto. En éste, se indicará el lugar aproximado de colocación de cada uno. Los pies de gráficos y dibujos, escritos a máquina, se enviarán en papel aparte.

Para las fotografías servirán observaciones similares.

7.ª *Fórmulas y expresiones matemáticas.*—En unas y otras debe procurarse la máxima claridad en su escritura, procurando emplear las formas más reducidas o que ocupen menos espacio, siempre que ello no entrañe riesgo de incomprensión.

8.ª *Caracteres de imprenta.*—Se ruega a los autores señalen en sus originales los estilos de los caracteres de imprenta que deban emplearse, de la manera siguiente:

Subrayar con una línea — las palabras en  *cursiva*.

Subrayar con dos líneas = las palabras en **VERSALITAS**.

Subrayar con tres líneas ≡ las palabras en **VERSALES**.

Subrayar con una línea ~ las palabras en **negrita**.

Subrayar con una línea discontinua— — las palabras **e s p a c i a d a s**.

9.ª *Pruebas.*—Deberán devolverse, debidamente corregidas, junto con el trabajo original, en el plazo de ocho días, a partir de la fecha de envío. Pasado este plazo sin recibirse, el trabajo perderá su turno de publicación. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original. Si el autor desea hacer alguna alteración del texto original que suponga gastos adicionales de impresión, éstos le serán facturados a precio de coste.

10. *Separatas.*—De cada trabajo se entregarán gratuitamente al autor 25 separatas. A petición de éste —hecha constar por escrito en la cubierta del original— podrán servirsele, a su cargo, las que desee.

11. *Examen de manuscritos.*—Los trabajos, una vez recibidos, pasarán a la Comisión de Publicaciones para informe.

# ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA

Publicados por el INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA «JOSÉ M.<sup>a</sup> ALBAREDA», del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

## *Integrado por los Centros:*

Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.	gicas de Galicia. Santiago de Compostela.
Departamento de Edafología de Barcelona.	Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.
Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.	Departamento de Economía Agraria. Madrid.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia.	Estación Experimental de Aula Dei. Zaragoza
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto, Sevilla.	Instituto de Aclimatación. Almería.
Estación Experimental del Zaidín. Granada.	Instituto de Alimentación y Productividad Animal. Madrid.
Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. Santiago de Compostela.	Estación Agrícola Experimental. León.
	Estación Experimental La Mayora. Málaga.

## *Con la Colaboración de los Organismos siguientes:*

Departamento de Zootecnia de Córdoba.	Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
Instituto «Jaime Ferrán» de Microbiología. Madrid.	Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo. (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).
Instituto de Biología Celular. Madrid	Misión Biológica de Galicia. Pontevedra
Centro Pirenaico de Biología Experimental de Jaca. Huesca.	Sociedad Española de Ciencia del Suelo
Instituto de Biología del Tabaco. Sevilla.	Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.

La correspondencia relativa a trabajos y su publicación, a:

ANALES DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA  
SERRANO, 115 BIS. MADRID-6 (ESPAÑA)

La correspondencia relativa a suscripciones o adquisiciones, a:

DISTRIBUCIÓN DE PUBLICACIONES DEL C. S. I. C.  
VITRUBIO, 16. MADRID-6 (ESPAÑA)



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA





Tommo XV Números: 1-2 ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD AGROBIOLÓGICA Enero-Febrero 1976