

# ANALES DE EDAFOLOGIA Y FISILOGIA VEGETAL

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Anal. Edaf. Tomo X, Número 3. Pág. 207-326. Madrid, mayo-junio 1951

# ANALES DE EDAFOLOGIA Y FISILOGIA VEGETAL

Publicados por el INSTITUTO DE EDAFOLOGIA Y FISILOGIA VEGETAL del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con la colaboración de:

Centro de Estudios del Tabaco. Sevilla. Estación Experimental de Aula Dei. Zaragoza.	Laboratorio de Caminos de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos.
Instituto de Aclimatación. Almería.	Sociedad Española de Ciencia del Suelo.
Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas.	Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.

Número suelto..... 20 pesetas

Suscripción anual (seis números)... 100 »

Toda la correspondencia a

ANALES DE EDAFOLOGIA Y FISILOGIA VEGETAL  
Serrano, 113. Madrid (España).

TOMO X.

NUM. 3.

## SUMARIO

	Páginas
ALEIXANTRE FERRANDIS, V. y GARCÍA VERDUCH, A.: Relaciones entre algunas propiedades físicas, químicas y técnicas de las arcillas (II) .....	207
BURRIEL MARTI F. y SUÁREZ y SUÁREZ A.: Sobre la influencia del abonado fosfatado en la composición química de los forrajes.....	247
R. DE LA BORBOLLA y ALCALÁ, J. M. y CORTÉS MUÑOZ, V.: Sobre la determinación de calcio y magnesio en el tabaco, sin previa mineralización.....	287
BOTELHO DA COSTA, J. V.: Importancia científica y práctica de la clasificación y cartografía de los suelos.—Examen crítico del sistema americano.....	291

### INFORMACION

III Congreso Internacional de Ingeniería Agronómica, en Italia, por E. ARANDA...	309
Acerca de los suelos colombianos.....	310
NOTAS.—Los Dres. Wallace, Ogg y Roach, en el Instituto.—Visita del Prof. Virtanen.—Reunión de final de curso.—Otras notas.—Sociedad Española de Ciencia del Suelo.....	313

### BIBLIOGRAFÍA

NORMAN CAREW: *Ploughman's Wisdom* (317).—A. DEMOLON: *La carence phosphorique. Ses repercussions en Biologie* (318).—V. S. C. LAWRENCE y J. NEWELL: *Seed and Potting Compost* (319).—JOHN J. FINAN: *Maize in the Great Herbals* (320).—E. ZANDER: *Beiträge zur Herkunftsbestimmung bei Honig* (322).—A. E. MURNEEK y R. O. WHYTE: *Vernalization and Photoperiodism* (323).—L. ZECHMEISTER: *Progress in chromatography* (325).



# RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y TECNICAS DE LAS ARCILLAS (II)

por

VICENTE ALEIXANDRE FERRANDIS y ANTONIO GARCIA VERDUCH

## INTRODUCCIÓN

El objeto fundamental de las investigaciones sobre las materias primas cerámicas es el de definir sus propiedades físico-químicas características y determinar las leyes y relaciones que existen entre la constitución, la composición química y las propiedades de interés práctico, como la contracción en el secado y en el cocido, la plasticidad, la tixotropía, el punto de sintetización, etc.

En un trabajo previo (2) ya hemos iniciado este tipo de estudios utilizando un grupo de diez muestras de arcillas y caolines empleados por la industria cerámica española, y ahora nos proponemos ampliar el estudio anterior introduciendo materiales de naturaleza mineralógica distinta y verificando nuevos ensayos técnicos.

Los ensayos experimentales realizados por nosotros se pueden agrupar en dos órdenes:

- a) Ensayos para determinar la estructura y la composición química y mineralógica de los materiales.
- b) Ensayos experimentales de medida y valoración de las características técnicas de los mismos.

En el primer grupo comprendemos las siguientes determinaciones:

*Análisis químico:* Determinación de los óxidos y cálculo de algunas de sus razones.

*Determinación de materia orgánica.*

*Determinación del contenido total en geles inorgánicos.*

*Análisis mecánico.*

*Análisis térmico*: Estudio de la disociación térmica y de los efectos termoquímicos.

*Determinación de la actividad superficial*: Capacidad total de cambio de bases y capacidad de adsorción de azul de metileno.

Del conjunto de estos ensayos se puede extraer ya una imagen bastante exacta de la naturaleza y estructura de los materiales cerámicos en estudio.

En el segundo grupo estudiamos las siguientes propiedades:

*Plasticidad.*

*Viscosidad* e influencia sobre ella de los electrolitos fluidificantes:

*Tixotropía* y volumen de sedimentación.

*Dsecación*: Velocidad de desecación, velocidad de difusión del agua a través de la masa y contracción-porosidad en el secado.

*Contracción por calcinación.*

*Sinterización y porosidad.*

*Resistencias mecánicas.*

En el momento de comenzar nuestro trabajo seleccionamos un grupo bastante numeroso de arcillas y caolines empleados por la industria cerámica española, con el fin de poder contar en él con representantes de los tipos mineralógicos más significativos en los materiales arcillosos: caolinita, haloisita, ilita y montmorillonita. Los tres primeros los hemos conseguido abundantemente en forma de caolines, arcillas caoliniticas, arcillas iliticas-caoliniticas, arcillas iliticas típicas y arcillas haloisiticas. La ausencia de arcillas montmorilloniticas la hemos suplido en algún caso utilizando una sub-bentonita de Marruecos y dos bentonitas comerciales de gran riqueza.

Los materiales empleados han sido:

Caolín de Chelva (Valencia). (\*)

Caolín de Lage (La Coruña). (\*)

Arcilla de la fábrica de ladrillos Río Cerámica. Localidad: Alcalá de Henares. (Madrid). (\*)

Arcilla de la fábrica de ladrillos Estela. Localidad: Alcalá de Henares (Madrid). (\*)

Arcilla de la fábrica de ladrillos Pinilla. Localidad: Alcalá de Henares. (Madrid). (\*)

Arcilla de la fábrica de ladrillos Valderrivas. Localidad: Madrid. (\*)

---

(\*) Estos materiales han sido estudiados en un trabajo anterior (2).

- Arcilla de Arroyo de Abroñigal. Localidad: Madrid. (\*)  
Arcilla Carretera de Logroño. Localidad: Navarrete. (\*)  
Arcilla fábrica de ladrillos. Localidad: Talavera (Toledo). (\*)  
Arcilla fábrica de ladrillos. Localidad: Benasal (Castellón). (\*)  
Arcilla de la fábrica de ladrillos Norah. Localidad: Villaverde (Madrid).  
Arcillas blanca, gris y negra de Sangrá, S. A. Localidad: La Cañada de Verich (Teruel).  
Caolín de Sangrá, S. A. Localidad: Sot de Chera (Valencia).  
Arcillas refractarias de Pinell de Bray.  
Caolines de la fábrica Arcadia. Localidad: Burela (Lugo).  
Arcillas de la fábrica Arcadia. Localidad: Burela (Lugo).  
Arcilla de la fábrica Arcadia. Localidad: Dena (Pontevedra).  
Bentonita de Bocoia (Marruecos español).  
Arcillas de Aranjuez (Madrid).

#### IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

El análisis químico de las muestras ha sido realizado siguiendo las técnicas operatorias descritas por Jakob (19) con algunas modificaciones introducidas por la Sección de Análisis Químico del Instituto Español de Edafología. Los resultados obtenidos se exponen en las tablas 1 A y 1 B.

A la vista de dichos resultados podemos hacer ya algunas consideraciones acerca de la naturaleza de los materiales. Las arcillas de Talavera, Carretera de Logroño, Benasal, Aranjuez y Norah, y la sub-bentonita de Bocoia, presentan un apreciable contenido de magnesio que hace pensar en una predominancia de minerales del grupo de la illita o de la montmorillonita. El resto de los materiales posee indicios o cantidades muy pequeñas de óxido de magnesio, de acuerdo con una composición de tipo caolinítico. Por otra parte, los materiales que juzgamos ílíticos o montmorilloníticos tienen, en general, razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  más elevada que los de bases caolinítica. A propósito de esta observación debemos hacer la salvedad de algunas muestras, que aun poseyendo como minerales predominantes a los del grupo de la caolinita, contienen notables cantidades de

---

(\*) Estos materiales han sido estudiados en un trabajo anterior (2).

TABLA I A

MUESTRA	Si O <sub>2</sub> por 100	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> por 100	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> por 100	Ti O <sub>2</sub> por 100	Ca O por 100	Mg O por 100	Si O <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si O <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si O <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Caolín de Lage... ..	47,26	39,50	ind.	ind.	—	—	2,03	2,03	—
Caolín de Chelva ... ..	71,53	22,52	ind.	—	0,32	—	5,40	5,40	—
Caolín Sangrá ... ..	59,98	29,40	0,98	0,25	0,30	ind.	3,38	3,45	163,04
Caolín lavado Burela ... ..	55,49	32,39	1,21	ind.	0,22	ind.	2,83	2,90	122,69
Caolín bruto Burela. ... ..	67,42	22,27	1,37	ind.	0,41	ind.	4,93	5,13	131,52
Arcilla Burela n.º 4. ... ..	50,58	35,24	1,84	0,27	0,48	ind.	2,35	2,43	72,93
Arcilla Burela n.º 7. ... ..	50,38	35,84	1,84	0,27	0,44	ind.	2,30	2,38	72,64
Arcilla de Dena... ..	48,59	36,33	0,88	1,69	0,36	0,07	2,23	2,26	146,50
Carretera Logroño... ..	59,14	15,50	4,73	1,12	10,14	1,80	5,46	6,51	33,93
Talavera... ..	60,38	19,84	4,55	0,59	2,70	1,55	4,52	5,18	35,89
Benasal ... ..	55,66	21,21	3,65	1,69	1,98	1,40	4,04	4,47	42,09
Río Cerámica. ... ..	45,31	21,15	9,43	0,92	2,10	12,78	2,83	3,64	12,83
Pinilla... ..	50,60	24,26	8,34	0,71	1,94	7,77	2,91	3,55	16,20
Estela... ..	54,08	24,05	3,94	0,86	1,62	7,75	3,47	3,83	37,50
Norah... ..	47,23	29,24	5,85	1,08	0,91	4,07	2,42	2,73	21,39

TABLA I B

MUESTRA	Si O <sub>2</sub> por 100	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> por 100	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> por 100	Ti O <sub>2</sub> por 100	Ca O por 100	Mg O por 100	$\frac{\text{Si O}_2}{\text{R}_2 \text{ O}_3}$	$\frac{\text{Si O}_2}{\text{Al}_2 \text{ O}_3}$	$\frac{\text{Si O}_2}{\text{Fe}_2 \text{ O}_3}$
Aranjuez n.º 1 ... ..	50,80	20,08	7,82	1,17	1,12	2,92	3,43	4,28	17,02
Aranjuez n.º 2 ... ..	50,56	22,94	7,26	1,31	0,71	2,49	3,10	3,73	18,46
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	46,54	30,43	2,30	0,94	3,64	ind.	2,47	2,59	53,59
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	46,95	28,70	1,03	1,02	3,58	ind.	2,71	2,77	121,65
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	69,92	18,85	0,46	1,24	0,52	0,26	6,19	6,28	414,10
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	57,88	24,09	1,84	1,02	0,26	0,26	3,88	4,07	83,46
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	59,32	26,30	1,03	1,32	1,98	ind.	3,71	3,80	153,70
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	54,82	25,52	1,84	1,14	0,66	ind.	3,48	3,64	79,10
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	56,50	23,82	3,68	1,05	2,56	ind.	3,65	4,02	40,03
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	55,46	24,64	6,44	1,37	3,54	ind.	3,26	3,81	22,82
Arcilla blanca Sangrá ... ..	50,69	31,62	1,54	3,26	0,54	ind.	2,63	2,71	87,56
Arcilla gris Sangrá... ..	46,30	34,91	1,72	2,22	0,84	ind.	2,18	2,24	71,75
Arcilla negra Sangrá ... ..	43,12	36,92	1,25	1,61	0,94	ind.	1,93	1,97	91,67
Sub-bentonita Bocoia ... ..	54,20	18,24	0,10	0,16	6,26	5,69	5,02	5,04	—
Valderrivas .. ... ..	66,63	15,79	7,19	0,39	3,57	2,82	5,57	7,19	24,71
Arroyo Abroñigal ... ..	73,70	12,79	1,64	0,17	1,22	0,62	9,08	9,81	122,70

RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

cuarzo libre. Esto ocurre, por ejemplo, en el caolín de Burela, que en estado natural tiene una razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  igual a 5,13 y sin embargo, después de purificado sólo alcanza 2,90. En el caso de algunas arcillas de Pinell de Bray, como las números 3, 4 y 7, ocurre de la misma forma.

Al considerar los contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  observamos que las arcillas de base ilítica presentan unos valores que oscilan entre 3,65 por 100 y 7,82 por 100, mientras que en el resto de los materiales varía desde indicios hasta 2,30 por 100. Hacen excepción las arcillas de Pinell de Bray núm. 7 y 8, que poseen respectivamente 3,68 por 100 y 6,44 por 100 de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Esta aparente anomalía puede ser explicada por la presencia de óxidos o hidróxidos de hierro en estado libre.

Respecto a los contenidos en óxido de titanio hallados en las muestras estudiadas, no podemos afirmar que exista relación alguna con la composición mineralógica, aunque en general se observa que los caolines típicos lo presentan en pequeña proporción.

La suma  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  más  $\text{TiO}_2$ , que generalmente orienta sobre la intensidad de color de las arcillas, puede fallar en algún caso debido a la mayor o menor riqueza en materia orgánica. Esto ocurre, por ejemplo, en el grupo de las arcillas de Sangrà. La arcilla blanca posee una suma  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  más  $\text{TiO}_2$  de 4,80 por 100 y la negra de 2,86 por 100, pero en cambio, los contenidos en materia orgánica son respectivamente 1,23 por 100 y 2,97 por 100 (tabla núm. 3). Esta afirmación puede ser comprobada al considerar el blanqueamiento que sufren dichas arcillas en el horno al ser calentadas por encima de los 400° C.

En la tabla núm. 2 están de manifiesto los resultados del análisis mecánico de las muestras de estudio, obtenidos siguiendo el procedimiento internacional.

La materia orgánica total ha sido determinada según el método descrito por Burriel, Guerra y Fábregas (4) para los suelos de cultivo. Consiste esencialmente en oxidación de la materia orgánica con solución de ferricianuro potásico en medio alcalino y valoración del ferrocianuro potásico formado, con permanganato 1/10 n., siguiendo la técnica de Haen (15). Los valores obtenidos se encuentran en la tabla núm. 3.

Para la extracción y valoración de los geles inorgánicos hemos adoptado la técnica de Tamm (30), que consiste en lo siguiente:

Se toman 3 gramos de la muestra finamente pulverizada en el mortero de ágata y se deseca al aire; se introduce en un matraz er-



TABLA 2  
*Análisis mecánico*

MUESTRA	Pérdida por desecación Por 100	Pérdida por solución Por 100	Arena gruesa Por 100	Arena fina Por 100	Limo Por 100	Arcilla Por 100	Carbonatos Por 100
Caolín de Lage... ..	1,4	0,2	4,4	7,9	51,7	33,2	—
Caolín Sangrá ... ..	1,6	—	—	7,0	47,5	47,3	—
Caolín lavado Burela ... ..	1,3	0,1	—	18,4	45,6	37,8	—
Caolín bruto Burela. ... ..	1,5	—	5,6	43,1	29,5	16,4	—
Arcilla Burela n.º 4. ... ..	0,8	0,1	11,8	13,0	30,5	37,3	—
Arcilla Burela n.º 7. ... ..	0,6	0,1	0,6	4,5	62,6	28,3	—
Arcilla de Dena. ... ..	1,3	0,1	1,8	0,8	81,0	17,1	—
Carretera Logroño... ..	2,1	0,5	0,1	0,5	39,6	39,9	14,7
Talavera... ..	4,4	0,9	13,9	19,0	16,7	41,1	—
Benasal ... ..	3,3	1,2	0,3	5,9	14,4	71,8	2,0
Río Cerámica. ... ..	9,9	1,4	7,7	17,2	26,3	39,1	—
Pinilla... ..	2,6	1,4	3,1	14,9	36,7	24,9	—
Estela... ..	3,4	1,0	2,1	10,9	43,7	32,6	—
Norah... ..	3,6	0,1	—	4,4	36,1	57,1	—
Aranjuez n.º 1 ... ..	4,1	0,1	—	0,2	40,7	56,3	—
Aranjuez n.º 2 ... ..	4,2	0,2	—	0,5	19,8	74,7	—
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	3,2	0,1	1,3	3,9	20,7	72,2	—
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	2,7	0,1	indicios	5,3	28,0	65,8	—
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	1,8	0,1	1,5	23,6	27,0	49,1	—
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	3,0	0,1	indicios	5,3	13,6	82,7	—
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	2,6	0,1	indicios	14,0	43,1	41,8	—
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	2,3	0,1	1,5	3,4	24,5	72,5	—
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	1,7	0,1	—	15,4	20,3	65,7	—
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	2,8	0,1	0,7	5,1	32,7	63,0	—
Arcilla blanca Sangrá ... ..	3,1	0,5	—	indicios	9,0	86,1	—
Arcilla gris Sangrá... ..	3,5	0,2	—	0,9	5,1	94,0	—
Arcilla negra Sangrá ... ..	3,9	0,4	—	5,4	2,3	86,8	—
Sub-bentonita Bocoia ... ..	9,5	1,8	0,3	9,3	20,3	47,7	10,0
Valderrivas ... ..	6,5	0,6	41,7	12,7	18,9	20,5	—
Arroyo Abroñigal ... ..	1,3	0,4	66,7	9,4	11,2	12,1	—

lenmeyer de 300 c.c. de capacidad con 150 c.c. de la solución de Tamm de pH = 3,5, se cierra cuidadosamente con un tapón de goma que ajuste bien y se agita durante una hora. Se filtra por un filtro de membrana y el residuo se introduce otra vez en el matraz con ayuda del frasco lavador y se vuelve a agitar durante una hora con otros 150 c.c. de solución de Tamm, filtrando después por el mismo filtro que antes, y recogiendo el filtrado sobre el de la primera extracción. Se evapora al baño maría en cápsula de platino hasta desecación completa, calcinando después débilmente a la llama del mechero para eliminar todo el ácido oxálico y oxalato amónico.

Nosotros hemos seguido, en general, el mismo procedimiento, pero para evitar las filtraciones, que son muy lentas, hemos empleado una centrífuga de 2.000 revoluciones por minuto.

Los resultados obtenidos en estos ensayos están de manifiesto en la tabla núm. 3.

#### ANÁLISIS TÉRMICO.

Los cambios que ocurren durante el calentamiento de las arcillas, aunque no se observe directamente, pueden ponerse de manifiesto indirectamente por medio de métodos adecuados de medida.

En nuestro estudio utilizamos dos procedimientos: a) Análisis térmico ponderal y b) Análisis térmico diferencial.

#### *Análisis térmico ponderal*

Uno de los cambios más inmediatos que sufren las arcillas durante su calentamiento es la pérdida de peso. Estas pérdidas de peso pueden medirse colocando la muestra de arcilla en un horno a temperatura constante y calentándola a dicha temperatura hasta que el peso permanezca invariable. Después se eleva la temperatura y se vuelven a repetir las pesadas. Esta operación se suele realizar por crecimientos de 100° en 100° C., hasta alcanzar los 800° ó 1.000° C.

A fin de atender más especialmente a las transformaciones que ocurren en los minerales constituyentes de las arcillas, es conveniente operar con materiales en los que previamente se ha destruido la materia orgánica y los carbonatos.

Las pérdidas de peso son debidas a:

1.° Pérdida del agua adsorbida a temperaturas relativamente bajas.

TABLA 3

MUESTRA	Capacidad de cambio meq. Por 100	Capacidad de adsorción de azul de metileno mgr./gr.	Carbono Por 100	Materia orgánica Por 100	Geles inorgánicos Por 100
Caolín de Lage... ..	6,45	10,0	0,25	0,42	0,91
Caolín Sangrá ... ..	14,13	4,8	0,27	0,46	0,96
Caolín lavado Burela ... ..	13,96	4,0	0,41	0,70	0,47
Caolín bruto Burela. ... ..	10,45	2,0	0,32	0,55	1,06
Arcilla Burela n.º 4. ... ..	10,79	4,0	0,37	0,63	0,95
Arcilla Burela n.º 7. ... ..	11,13	10,2	0,37	0,63	0,46
Arcilla de Dena. ... ..	16,62	12,0	0,31	0,53	1,43
Carretera Logroño... ..	17,65	7,2	0,24	0,41	2,76
Talavera... ..	38,73	73,4	0,79	1,36	0,38
Benasal ... ..	32,02	66,2	0,51	0,87	1,59
Norah... ..	37,44	75,8	0,54	0,92	3,47
Aranjuez n.º 1 ... ..	46,87	73,2	0,28	0,48	5,78
Aranjuez n.º 2 ... ..	40,87	74,4	0,29	0,50	5,23
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	26,90	48,0	0,26	0,45	0,92
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	15,93	59,0	0,26	0,45	0,71
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	7,88	16,2	0,28	0,48	0,84
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	18,33	60,1	0,31	0,53	2,62
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	16,99	40,0	0,34	0,58	0,63
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	14,22	44,3	0,26	0,45	0,81
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	9,76	26,0	0,29	0,50	0,56
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	13,36	46,5	0,31	0,53	0,84
Arcilla blanca Sangrá ... ..	25,36	68,0	0,72	1,23	0,87
Arcilla gris Sangrá. ... ..	20,82	58,6	0,95	1,63	1,03
Arcilla negra Sangrá ... ..	26,04	71,2	1,73	2,97	0,78
Sub-bentonita Bocoia ... ..	68,43	150,9	0,20	0,34	3,55
Arroyo Abroñigal ... ..	13,75	3,2	0,20	0,34	0,75

TABLA 4 A  
% de pérdida de agua a diferentes temperaturas

MUESTRA	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°
Caolín de Lage... ..	0,37	0,61	0,81	1,53	12,30	13,00	13,40	13,50
Caolín de Chelva ... ..	0,35	0,48	0,68	0,82	5,43	5,82	5,96	—
Caolín Sangrá ... ..	0,33	0,49	0,51	0,75	9,04	9,91	10,22	10,23
Caolín lavado Burela ... ..	0,74	1,10	1,22	1,55	9,76	10,68	11,03	11,08
Caolín bruto Burela. ... ..	0,61	0,81	0,91	1,07	6,88	7,63	7,83	7,88
Arcilla Burela n.º 4. ... ..	0,61	0,95	1,23	1,43	11,44	12,28	12,71	12,89
Arcilla Burela n.º 7. ... ..	0,78	1,09	1,20	1,64	11,41	12,47	12,82	12,98
Arcilla de Dena. ... ..	0,86	1,18	1,26	1,90	10,65	11,71	12,10	12,23
Carretera Logroño... ..	1,36	1,84	2,18	3,25	5,85	6,91	7,26	7,79
Talavera... ..	1,36	2,10	2,44	2,90	5,43	6,11	6,56	6,64
Benasal ... ..	1,03	2,13	2,35	3,78	6,86	7,44	7,98	8,33
Río Cerámica. ... ..	2,59	3,23	4,00	5,48	7,90	9,58	10,47	10,89
Pinilla... ..	1,52	2,05	2,74	3,42	5,89	6,58	7,42	7,98
Estela... ..	1,41	2,08	2,36	3,60	5,45	6,13	7,29	7,73
Norah... ..	2,97	3,95	3,94	4,79	6,85	7,08	8,66	9,41
Aranjuez n.º 1 ... ..	1,78	1,80	3,15	3,51	7,49	7,65	8,28	9,10

TABLA 4 B  
% de pérdida de agua a diferentes temperaturas

MUESTRA	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°
Aranjuez n.º 2 ... ..	2,07	2,73	3,52	4,10	7,54	8,13	8,48	8,98
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	2,60	3,22	3,42	3,72	10,57	11,38	11,70	11,93
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	1,23	1,94	2,18	2,63	9,00	9,43	10,16	10,20
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	0,58	0,85	1,00	1,23	4,79	5,19	5,40	5,40
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	1,06	1,75	2,05	2,08	9,47	10,31	10,73	10,98
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	1,40	2,04	2,31	2,51	9,10	9,76	10,24	10,43
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	1,86	2,03	2,30	2,73	7,88	8,84	9,54	9,76
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	0,84	1,19	1,95	1,99	8,90	9,43	9,97	10,32
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	1,16	1,74	2,07	2,09	8,02	8,67	9,26	9,33
Arcilla blanca Sangrá ... ..	1,79	2,66	3,00	3,40	11,18	12,26	12,73	12,75
Arcilla gris Sangrá.. ... ..	2,21	2,31	2,76	3,19	11,84	13,51	13,87	14,57
Arcilla negra Sangrá ... ..	1,91	2,63	4,39	6,00	15,41	16,11	16,76	16,94
Sab-bentonita Bocoia ... ..	6,12	7,92	8,31	8,75	10,60	12,70	15,17	16,80
Valderrivas ... ..	1,42	2,13	2,21	2,47	3,84	4,19	4,71	4,92
Arroyo Abroñigal ... ..	0,41	0,67	0,75	0,91	1,93	2,16	2,31	2,61

2.º Pérdida del agua químicamente combinada, que ocurre a una temperatura definida para cada mineral de la arcilla.

3.º Pérdida de  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_2$  originados en procesos de oxidación y descomposición térmica.

La adecuada interpretación de las curvas de deshidratación de un material arcilloso suministra un conocimiento bastante profundo acerca de su composición mineralógica.

Los minerales bien cristalizados, como la caolinita, pierden su agua química a una temperatura determinada, mientras que los materiales amorfos, como la alofana, la pierden gradualmente.

Nuestros materiales han sido estudiados por el método del calentamiento discontinuo, realizado de  $100^\circ$  en  $100^\circ$  y nos hemos apoyado en un peso inicial que corresponde al que adquiere la arcilla a la tensión de vapor de ácido sulfúrico al 50 por 100. En todos los casos hemos operado con materiales en los que previamente se ha destruído la materia orgánica y los carbonatos.

Los valores de las pérdidas ocurridas desde  $100^\circ$  a  $800^\circ$  C. sobre el peso inicial indicado, están expuestos en las tablas 4 A. y 4 B.

Los caolines estudiados (caolín de Lage, caolín de Chelva, caolín Sangrá, caolines de Burela, arcillas de Burela y arcilla de Dena) presentan hasta los  $400^\circ$  C. deshidrataciones que oscilan entre el 0,75 por 100 en el caolín Sangrá y 1,90 por 100 en la arcilla de Dena. Un comportamiento de esta índole sólo puede ser explicado por una estructura cristalina compacta y un pequeño contenido en material amorfo, que reducirían al mínimo la cantidad de agua adsorbida por la red o parcialmente combinada en forma de hidróxidos o de compuestos más o menos definidos. Unos materiales como los nuestros, con gran riqueza en caolinita y pequeño contenido en geles inorgánicos encuentran plenamente justificado su comportamiento desde este punto de vista. Por otra parte el agua reticular se pierde casi totalmente entre  $400^\circ$  y  $500^\circ$ , corroborando nuestra suposición acerca de la predominancia de constituyentes cristalinos con red compacta y definida. A partir de los  $500^\circ$  C. las pérdidas de agua que ocurren son muy reducidas y varían desde 1,00 por 100 en el caolín bruto de Burela hasta 1,58 por 100 en la arcilla de Dena. Este hecho indica que la destrucción reticular se ha verificado casi íntegramente entre los  $400^\circ$  y  $500^\circ$  C. como indican todos los autores para el caso de la caolinita.

Encontramos entre nuestras muestras un grupo de materiales



representado por las arcillas de Sangrá y Pinell de Bray que, aun presentando curvas de deshidratación de índole análoga a los caolines, apuntan alguna diferencia de orden cuantitativo. Esta diferencia afecta concretamente a las pérdidas de humedad sufridas hasta los 400° y de 500° a 800°, que consideradas en conjunto, resultan superiores a las de los caolines. Así, por ejemplo, las pérdidas hasta los 400° varían desde 1,23 por 100 en la arcilla de Pinell de Bray núm. 7 hasta 6,00 por 100 en la arcilla negra de Sangrá, y las ocurridas en el intervalo 500-800° varían desde 0,67 por 100 en la arcilla de Pinell de Bray núm. 7 hasta 2,73 por 100 en la arcilla gris de Sangrá. Juzgando el hábito de la curva, con tres zonas perfectamente definidas, nos habremos de decidir por la elección de un mineral del grupo de la caolinita, pero las diferencias cuantitativas encontradas con respecto a ésta, nos hacen descartarla, al menos como mineral exclusivo. Para la explicación de este comportamiento nos hace falta un mineral de gran semejanza química con la caolinita, pero que posea una red cristalina menos compacta y perfecta que explique por una parte la mayor cantidad de agua retenida por adsorción y por otra, la pequeña anticipación que parece ocurrir en la pérdida del agua reticular. De momento, y como solución provisional, elegimos la halcisita en sus diversos grados de hidratación, sin prescindir de la probable presencia de caolinita en su composición.

Ahora, al estudiar el grupo de materiales que por su composición química—especialmente en lo que se refiere a la presencia de óxido de magnesio—aislábamos del resto de los estudiados, por creerlos con características propias, hallamos para ellos un comportamiento a la deshidratación que difiere claramente del que presentan los grupos caolinitico y haloisítico. La diferencia estriba esencialmente en que la zona de grandes deshidrataciones no se ofrece con el mismo realce que en el caso del grupo de la caolinita, y que al propio tiempo parece estar desplazada hacia temperaturas inferiores. Por dichas razones, nos inclinamos a creer que las arcillas de Alcalá de Henares, Talavera, Benasal, Logroño, Aranjuez y Norah poseen curvas de deshidratación que indican la presencia de illita como mineral mayoritario, acompañado de geles que hacen que las pérdidas hasta 400° sean de cierta importancia.

Finalmente diremos que la muestra de Bocoia corresponde claramente al tipo de las arcillas montmorilloníticas, por cuanto acusa una deshidratación intensa hasta 200° C., debida a su gran contenido en agua interlamina; desde 400° a 500° ofrece pérdidas moderadas, y

de 800° en adelante, el ritmo de la deshidratación se hace más intenso que en el caso de las restantes muestras estudiadas.

Más adelante, cuando consideremos la actividad superficial y la aparición de los efectos térmicos al variar la temperatura, tendremos oportunidad de insistir, con más elementos de juicio, sobre la naturaleza mineralógica de estas arcillas.

Un aspecto muy interesante a considerar en el estudio térmico de las arcillas es el de la posible relación entre la finura de grano y la marcha de la deshidratación o las temperaturas de aparición de los efectos termoquímicos. Parece razonable suponer, en principio, que ambos procesos térmicos deben anticiparse al aumentar la finura de grano, debido al notable aumento de la superficie específica. Al aumentar dicha superficie la facilidad de deshidratación y los efectos termoquímicos que se producen, aumentan debido al crecimiento del número de oxhidrilos superficiales. Dichos grupos, por su especial situación en la red cristalina, poseen mayor reactividad que los situados en el interior del cristal. Ahora bien, en los materiales que estudiamos no hemos logrado poner de manifiesto claramente dicha influencia, debido a que operamos con arcillas naturales, que aun poseyendo una composición mineralógica básica, común para cada grupo, pueden poseer como minerales minoritarios otros diversos en proporciones variadas, así como cantidades mayores o menores de material amorfo. Estas impurezas pueden acumularse en fracciones de un determinado tamaño de grano, modificando con su presencia las curvas de deshidratación. Estas modificaciones no indicarían variación alguna debida al tamaño de grano, sino más bien serían ocasionadas por las impurezas en que se enriquecería cada fracción.

Una gran proporción de fracción gruesa indica gran riqueza en minerales inertes, como cuarzo, feldespato, etc., en detrimento de los minerales básicos constitutivos de la arcilla; por tanto, al comparar térmicamente dos arcillas naturales de diferente distribución granulométrica no hacemos más que comparar dos materiales con mayor o menor riqueza en minerales inertes, pero de ninguna manera alcanzamos a observar el comportamiento térmico con la variación del tamaño de grano, ya que dicha variación ha de afectar únicamente a un mineral predominante.

### *Análisis térmico diferencial*

Entre los métodos físico-químicos más utilizados para la identificación de las arcillas ocupa un destacado lugar el análisis térmico diferencial. Mediante él puede ponerse de manifiesto la presencia de los minerales mayoritarios y también la de aquellos que, aun encontrándose en pequeñas proporciones, pueden ejercer una influencia apreciable en el comportamiento técnico de las arcillas.

El análisis térmico diferencial está basado en la observación y medida del calor absorbido o desprendido cuando un material experimenta cambios físicos o químicos al ser calentado o enfriado. En esencia, consiste este método en la medida de la temperatura del material en cuestión comparándola con la de una sustancia inerte colocada junto a él. De esta forma se origina una fuerza electromotriz apreciable durante el calentamiento, debida al calor desarrollado o absorbido por la sustancia problema.

Este método ha adquirido considerable importancia en el estudio de los silicatos, como lo demuestra el gran número de investigadores que lo han utilizado en sus trabajos. Así, Orce! y Caillere (27) lo han empleado en sus investigaciones sobre montmorillonita, lateritas, bauxitas y arcillas; Insley y Ewell (18) en sus trabajos sobre los minerales del caolín y Thilo (31) en sus estudios sobre el talco y la pirofilita. También son interesantes a este respecto las investigaciones de Norton (26), Caillere y Henin (5), Jourdain (21), Grimm y Rowland (13), Cuthbert y Rowland (7) y Grimm (11).

El aparato y el procedimiento empleados en el análisis térmico diferencial de nuestras arcillas han sido los mismos que los utilizados por V. Aleixandre (1). La velocidad de aumento de la temperatura ha sido constante y de unos doce grados centígrados por minuto, de acuerdo con las indicaciones emanadas de las últimas reuniones de Análisis Térmico Diferencial.

El análisis térmico diferencial nos permite enjuiciar la naturaleza mineralógica de las arcillas desde un punto de vista cualitativo, pero aún incluso autoriza a hacer una valoración semi-cuantitativa de los minerales mayoritarios, pudiéndose, por tano, ordenar una serie de arcillas de la misma naturaleza según sus respectivos contenidos en dichos minerales.

La interpretación de la curva de análisis térmico diferencial de un material problema, se realiza por comparación de la intensidad y

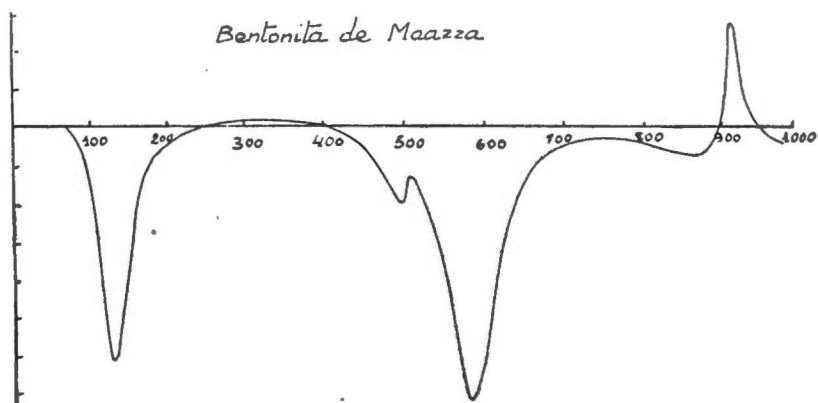


FIG. 1.

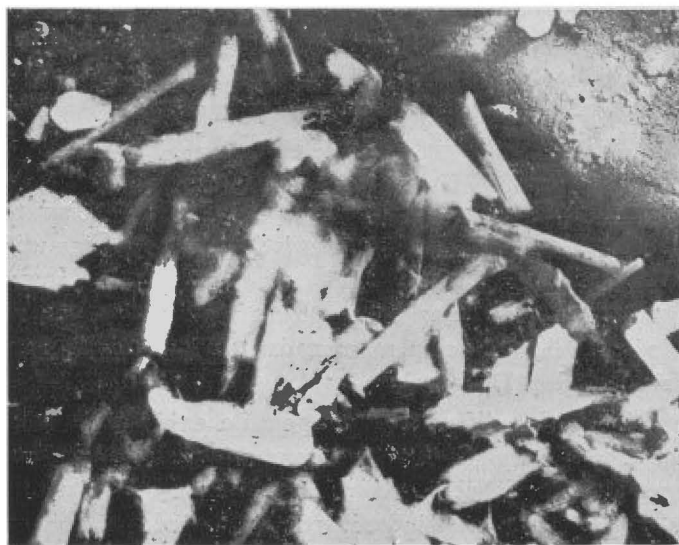


FIG. 2.— Microfotografía electrónica de la bentonita de Maaza.

situación de sus efectos termoquímicos con los correspondientes a los minerales puros.

La caolinita presenta un pequeño efecto endotérmico a los 150° C. debido a la expulsión del agua adsorbida en la superficie de los granos. El gran pico de absorción que existe alrededor de los 600° debe su aparición a la pérdida del agua químicamente combinada en la estructura de la caolinita, y el acusado y brusco efecto exotérmico que aparece entre 950° y 1.000° C. es originado por el cambio de alúmina amorfa en  $\gamma$ -alúmina. La alúmina amorfa proviene de la previa destrucción de la red del silicato, y el efecto exotérmico acusa un fenómeno de recristalización.

La haloisita presenta un diagrama de análisis térmico diferencial análogo al de la caolinita, con excepción de un efecto endotérmico alrededor de los 150°, que para el mineral hidratado (endellita,  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) es sumamente acusado. A menudo se presenta este efecto con mucha mayor moderación, debido a que el mineral está parcialmente deshidratado. La diferencia entre su diagrama y el de la caolinita es pequeña en lo referente al segundo efecto endotérmico y consiste en que el pico del citado efecto se presenta a temperaturas que, según algunos autores (14), están 25° ó 30° por debajo de la correspondiente al caolín. Análogamente ocurre con el último efecto exotérmico.

El hecho de que la haloisita presente sus dos últimos efectos térmicos desplazados hacia temperaturas inferiores, con relación a la caolinita, puede ser explicado, como más adelante diremos, por una estructura menos ordenada y compacta que la de la caolinita, que favorece la destrucción de la red y la transformación de alúmina amorfa en  $\gamma$ -alúmina. Pero además de esto, podemos justificar experimentalmente este hecho con una microfotografía electrónica obtenida de un material haloisítico y con la curva de análisis térmico diferencial del mismo. La microfotografía muestra claramente una estructura haloisítica (en forma de bastones) y la curva de análisis térmico diferencial acusa el último efecto exotérmico en la zona de los 920° C.

La preparación de las muestras para la obtención de las microfotografías electrónicas se ha realizado dispersando el material en una solución diluída de amoníaco. Se ha dejado sedimentar la suspensión durante veinticuatro horas y se ha extraído el líquido de la capa superficial. Es conveniente operar con soluciones diluídas a fin de poder obtener mayor separación entre los cristales fotografiados.

La conducta térmica de la montmorillonita y de la illita ha sido estudiada con interés por Grimm y Bradley (12). La montmorillonita presenta un efecto endotérmico acusado a bajas temperaturas, debido a la expulsión del agua interlamilar. La alteración de su red comienza a 600° y termina a unos 800°, observándose en esta zona un señalado efecto endotérmico. También existe un pequeño efecto exotérmico que tiene lugar a temperaturas algo más bajas que el correspondiente a la caolinita; además va precedido de un moderado efecto endotérmico.

La illita presenta un primer efecto endotérmico mucho más moderado que la montmorillonita y además el segundo efecto endotérmico está localizado entre los 450° y los 700°.

En las figuras 4 a 24 se exponen las gráficas correspondientes a los materiales estudiados por nosotros.

#### ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Para la determinación de la actividad superficial de nuestros materiales hemos seguido dos técnicas: Determinación de la capacidad total de cambio de bases y determinación de la capacidad de adsorción de azul de metileno.

Aunque en esencia las dos se apoyan en una misma base físico-química, la primera realiza las determinaciones por vía química y la segunda por vía colorimétrica.

El fenómeno del cambio de bases ya despertó interés desde su descubrimiento, a mediados del siglo pasado, por la íntima relación que parecía tener con el equilibrio del suelo y la planta. Numerosos han sido desde entonces los investigadores que han dedicado su atención a este fenómeno, y lo que en principio fueron curiosas observaciones han llegado a tener en la actualidad su lugar en lo teórico y en lo cuantitativo.

El cambio de bases no es más que la razón de mutuos desplazamientos iónicos en el seno de un sistema coloidal.

Varias son las técnicas de que disponen los edafólogos y ceramistas para la determinación de la capacidad total de cambio de bases, pero todas ellas están basadas en el desplazamiento del contenido iónico de la arcilla mediante una solución concentrada de un catión determinado, y posteriormente se provoca la salida de la nube homoiónica fijada, con la ayuda de un electrolito auxiliar, y se valora según los métodos del análisis químico ordinario.



En nuestro caso hemos determinado la capacidad total de cambio de bases por el procedimiento de Zöberlein, cuya técnica fué expuesta en un trabajo anterior (2). Los resultados obtenidos según este método se encuentran expuestos en la tabla número 3.

En el equilibrio del cambio iónico intervienen fundamentalmente las siguientes variables: Forma y tamaño de la micela, naturaleza eléctrica de la micela, carga eléctrica y radio electrodinámico de los iones de las soluciones interior y exterior, y concentraciones iónicas en ambas soluciones. Se supone en todos los casos que el disolvente es acuoso.

Como las consideraciones acerca del mecanismo de la hidratación iónica y la ponderación de los factores responsables de la misma, se salen del propósito de nuestro trabajo, remitimos a los estudios de Goldschmidt (10), Pauling (28), van Arkel y De Boer (3) y Ulich (32) entre otros.

En realidad en el procedimiento de Zöberlein todas las arcillas han sido hechas báricas antes de comenzar el desplazamiento definitivo de la nube homoiónica fijada, y, por tanto, los valores obtenidos para la capacidad total de cambio de bases han de depender únicamente de variables constitucionales o geométricas de las partículas arcillosas. Esta es la causa por la cual debemos fijar toda nuestra atención en las características micelares como responsables del cambio iónico.

Según Duclaux (9) se llama micela a una partícula coloidal con un enjambre iónico a su alrededor. Consta de dos partes:

a) Una interior, eléctricamente cargada, que se llama coloide-ión o macroión. b) La otra parte está formada por un enjambre de iones de carga opuesta que rodea y compensa eléctricamente al coloide-ión. La parte exterior del coloide-ión se llama corrientemente solución interior o solución micelar, en contraste con la atmósfera iónica libre que se llama solución exterior.

El concepto antiguo de que el coloide-ión es un sólido compacto de forma más o menos próxima a la esférica y con una distribución regular de cargas sobre la superficie, ha tenido que ser abandonado porque de los estudios realizados por Cernescu (6), Wiegner (33), Mattson (25) y Du Rietz (8), sobre la capacidad de cambio y densidad de carga de la partícula, según esta concepción, resultaba que para las capacidades de cambio halladas por estos investigadores había que suponer a la micela con una densidad eléctrica demasiado elevada.

La explicación de este hecho podría darse admitiendo valores muy elevados para la superficie específica, cosa que se puede alcanzar considerando el problema a la luz de nuevas ideas.

Las partículas coloidales de la arcilla pueden ser primarias, mononas o secundarias, polionas. Estas últimas están originadas por agregación de mononas, y por ello se crea una asociación no compacta en la que hay abundantes canales, cavidades y huecos de variadas dimensiones y formas. De esta manera se explica que el colóide-ión tenga superficies internas y externas.

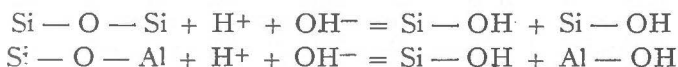
En el caso de los caolines estudiados por nosotros, la capacidad total de cambio de bases no rebasa el valor de 16 meq/100 gr., debido a que la red caolínica es compacta y la probabilidad de creación de superficies internas es muy pequeña. Sin embargo, al tratarse de materiales con red cristalina abierta, como las arcillas íliticas o montmorilloníticas, la capacidad de cambio aumenta extraordinariamente debido a que las superficies interiores accesibles al cambio iónico crecen por esta causa.

Las consideraciones geométricas no bastan por sí solas para explicar diferencias tan notables en el cambio de bases como las que existen, por ejemplo, entre el caolín de Lage (6,45 meq/100 gr.) y la sub-bentonita de Bocoia (68,43 meq/100 gr.) o la arcilla de Aranjuez número 1 (46,87 meq/100 gr.). Hace falta, además, poner en juego consideraciones acerca del origen de la carga eléctrica de estos materiales.

Los coloides de la arcilla están cargados, por regla general negativamente, funcionando como ácidos polivalentes insolubles (ácido-oides) porque protolizan iones hidrógeno reemplazables por adición de cationes. Pero los coloides de la arcilla muestran, además, propiedades que indican tener también carácter básico, puesto que retienen aniones y al mismo tiempo dejan en libertad iones  $\text{OH}^-$ . Se comportan, pues, como basoides. Se deduce de estas propiedades basoides y ácido-oides, que los coloides del suelo pueden ser considerados como anfólitos, que forman sales, saloides, con los ácidos y con las bases.

En el caso de los minerales del grupo de la caolinita parece probable que la causa fundamental del cambio iónico sea la protolización de los grupos  $\text{OH}^-$  superficiales que existen unidos a los átomos de aluminio en la red de la caolinita. Por otra parte, al verificarse la rotura de las uniones  $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$  y  $\text{Al} - \text{O} - \text{Si}$ , quedan en libertad una valencia positiva y otra negativa, y, por tanto, los hidrogè-

niones e hidroxiliones del agua pueden intervenir en la reacción del siguiente modo:



En la rotura del cristal aparecen grupos  $\text{OH}^-$  que pueden actuar como ácidos ( $\text{Si} - \text{OH}$ ) y como bases ( $\text{Al} - \text{OH}$ ), respectivamente.

Kelley supone que las uniones de rotura polarizan y adsorben moléculas de agua, las cuales después dan iones  $\text{H}^+$ .

Hendricks (17) y otros investigadores, apoyándose en la estructura de la montmorillonita propuesta por Hofmann—que no posee grupos  $\text{OH}^-$  superficiales—explican la capacidad de cambio de bases de los minerales del grupo de la montmorillonita como dependiente principalmente de las sustituciones en la red, del  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Mg}^{2+}$  o  $\text{Ca}^{2+}$ , y del  $\text{Si}^{4+}$  por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ , resultando de este modo cargas negativas libres (de los iones oxígeno incompensados) que pueden compensarse por los cationes de cambio.

Si se considera, por otra parte, la capacidad de cambio de bases de la montmorillonita a la luz de la estructura cristalina propuesta por Edelman y Favejee—que supone la existencia de grupos  $\text{OH}$  situados hacia el exterior de cada paquete de capas—, habrá que admitir como causa fundamental de dicho cambio iónico la protolización de estos oxhidrilos superficiales.

Resulta, pues, evidente, según estas consideraciones, que en materiales como los del grupo de nuestras arcillas ílticas y la sub-bentonita de Bocoia, que poseen apreciables contenidos en magnesio y calcio, viene determinada la capacidad de cambio de bases, en cuanto a su fracción cristalina, por los siguientes factores:

a) Gran superficie específica originada por su estructura no compacta, su finura de grano y su grado de mayor o menor aglomeración micelar.

b) Cambio iónico con los hidrogeniones protolizados en la superficie del cristal (Edelman y Favejee).

c) Desequilibrio de cargas eléctricas originado por sustituciones isomorfas (Hendricks).

En el caso de nuestras arcillas de base haloisítica (arcillas de Pinell de Bray y Sangrá) hallamos capacidades de cambio que no rebasan los 26 meq/100 gr., encontrándose, por tanto, según esta propiedad,

situadas entre los caolines y las arcillas ílticas. Las causas que creemos ver como responsables de este comportamiento son:

a) Debido a su hábito cristalino poseen más superficie accesible al cambio iónico que los caolines.

b) De la misma forma que los caolines, verifican el cambio iónico con los hidrógenos protolizados en la superficie del cristal.

Hasta ahora hemos fijado nuestra atención en la fracción cristalina de la arcilla, pero hemos de tener en cuenta que, en realidad, los coloides de la arcilla están constituídos por tres componentes distintos:

a) Un determinado número de partículas cristalinas de esqueleto de silicato, que constituyen la mayor parte de la fracción arcillosa.

b) Geles inorgánicos de un carácter y composición más indefinido.

c) Materia húmica.

Los dos últimos componentes están mutuamente relacionados por uniones físicas y químicas, y también con la superficie del esqueleto silicatado de las partículas cristalinas, formando de esta manera la superficie compleja, que es la parte activa de la partícula arcillosa. La relación en que interviene cada uno de estos tres componentes varía considerablemente de una arcilla a otra.

En general los materiales estudiados por nosotros no poseen proporciones de sustancia amorfa suficientes para modificar sensiblemente las conclusiones obtenidas, respecto a la capacidad de cambio de bases en relación con su naturaleza mineralógica.

Kelley y Jenny (22) han conseguido, por pulverización de algunos minerales y coloides del suelo, un notable aumento de la capacidad de cambio de bases. El proceso de pulverización actúa más intensamente sobre la exaltación de la capacidad de cambio en materiales en que predomina el efecto de protolisis superficial sobre el desequilibrio eléctrico por sustituciones isomorfas en la red. Por estudios roentgenográficos han llegado Marshall (24) y Jackson y Troug (19) a la conclusión de que por un prolongado molinaje se puede llegar a enriquecer la arcilla en material amorfo.

Cuando se estudian arcillas naturales, como en esta ocasión, no resulta fácil encontrar claras relaciones entre el contenido en finos y la capacidad de cambio de bases, ya que junto a casos de buena concordancia [(Caolín Sangrá:  $T = 14,13$  meq/100 gr.; arcilla = 47,4 por 100; Caolín Lage:  $T = 6,45$  meq/100 gr.; arcilla = 33,2 por 100)] se encuentran otros en notable disconformidad

[(Arcilla de Río Cerámica:  $T = 48,84$  meq/100 gr.; arcilla = 39,1 por 100) (Arcilla de Norah:  $T = 37,44$  meq/100 gr.; arcilla = 57,1 por 100)].

Las causas de estas aparentes anomalías pueden ser muy diversas: Distinta riqueza en minerales inertes y activos, distintas proporciones en material amorfo, distinto grado de alteración de los minerales, etc. Por ello creemos que solamente se debe dar validez a las relaciones observadas entre el tamaño de grano y la capacidad de cambio cuando se opera sobre materiales de idéntica composición y se utilizan fracciones de tamaños rigurosamente controlados.

En nuestro trabajo anterior (2) se ha expuesto la técnica experimental seguida para la determinación de adsorción de azul de metileno, así como una breve discusión teórica del fenómeno. En esta segunda parte se han estudiado además materiales representantes de los tipos haloisítico y montmorillonítico. Los valores obtenidos se exponen en la tabla 3.

De los ensayos precedentes hemos deducido que:

1.º La capacidad de cambio de bases está ligada primordialmente a la naturaleza de los minerales predominantes en la arcilla, que en último término condicionan la forma de las partículas y su comportamiento eléctrico. La sub-bentonita de Bocoia, constituida esencialmente por minerales del grupo de la montmorillonita, ofrece una capacidad de cambio bastante elevada (68,43 meq/100 gr.). Las arcillas de base lítica (Aranjuez, Norah, Talavera, Logroño, Benasal, Río Cerámica, Estela y Pinilla) poseen una capacidad de cambio que no sobrepasa los 49 meq/100 gr. Las arcillas haloisíticas (Pinell de Bray y Sangrá) tienen capacidades de cambio que no rebasan los 26 meq/100 gr. y los caolines no suelen pasar de los 15 meq/100 gr.

2.º La finura de grano, que en materiales de idéntica constitución puede afectar directamente a la capacidad de cambio, pierde gran significación en arcillas naturales, cuya riqueza en minerales activos puede ser muy diferente. En las muestras estudiadas por nosotros se encuentran junto a casos de buena concordancia otros en notable disconformidad.

3.º Los materiales estudiados por nosotros no poseen proporciones de sustancia amorfa suficientes para modificar sensiblemente las conclusiones obtenidas, respecto a la capacidad de cambio de bases en relación con su naturaleza mineralógica.

4.º La capacidad de adsorción de azul de metileno se muestra

también ligada a la naturaleza mineralógica de las arcillas, de forma que, en grupos de arcillas que poseen una elevada capacidad de cambio, la capacidad de adsorción de azul de metileno resulta también elevada. Así, la sub-bentonita de Bocoia tiene una capacidad de cambio de 68,43 meq/100 gr. y su capacidad de adsorción es de 159,9 mgr./gr. Las arcillas iliticas, de menor capacidad de cambio, poseen como máximo capacidades de adsorción de 76 mgr/gr. Las arcillas haloisíticas de capacidades de cambio que no rebasan los 26 meq/100 gr. presentan capacidades de adsorción no superiores a los 68 mgr./gr. y, por último, los caolines no adsorben más de 12 mgr./gr. de azul de metileno.

Esta regularidad, fácilmente comprobable en la consideración global de los materiales agrupados según su constitución mineralógica, no se observa tan claramente en los materiales aislados que constituyen cada grupo, debido probablemente a la influencia de los cationes de cambio existentes en la arcilla, sobre la fijación del catión azul de metileno y el excesivo volumen de dicho catión como origen de problemas de índole estérica.

5.º Respecto a la influencia de la distribución granulométrica sobre la capacidad de adsorción de azul de metileno, hemos de hacer las mismas observaciones apuntadas en la conclusión 2.ª.

#### CONCLUSIONES ACERCA DE LA NATURALEZA MINERALÓGICA DE LOS MATERIALES

Realizados ya los ensayos fundamentales de identificación de silicatos naturales, podemos pasar ya a la valoración de los resultados obtenidos en cada muestra en particular. De esta forma encontraremos esquematizadas y resumidas las características de cada material, y podremos más fácilmente enjuiciar y discutir los ensayos técnicos que se han de hacer posteriormente.

Según la naturaleza de los minerales mayoritarios constituyentes, podemos agrupar las muestras estudiadas de la siguiente manera:

*Caolines.*—Caolín de Lage, caolín de Chelva, caolín Sangrá, caolines de Burela, arcillas de Burela y arcilla de Dena.

*Arcillas haloisíticas.*—Arcillas de Pinell de Bray y de Sangrá.

*Arcillas iliticas.*—Arcillas de Alcalá de Henares (Río Cerámica, Estela y Pinilla), arcilla de Talavera, arcilla de Benasal, arcilla de Logroño, arcillas de Aranjuez y arcilla de Norah.

*Arcillas montmorilloníticas.*—Sub-bentonita de Bocoia.



*Materiales cuarzosos.*—Arcillas de Valderrivas y Arroyo de Abroñigal.

*Caolín de Lage (Titania)*

Presenta los efectos térmicos típicos de la caolinita; al no aparecer efectos térmicos parásitos parece probable que las impurezas que la acompañan sean cuarzo y feldespato, que no dan lugar a ningún efecto térmico. El contenido en caolinita parece elevado a juzgar por la magnitud de los efectos térmicos que presenta. A esta misma con-

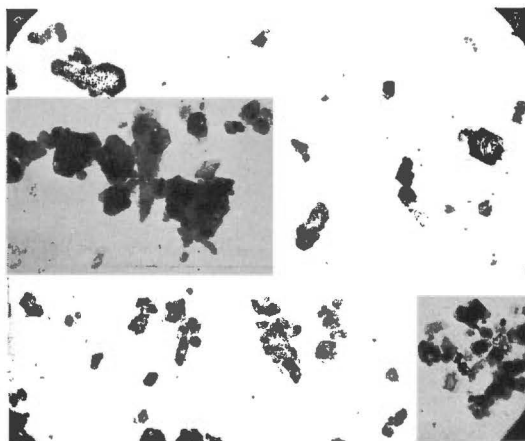


FIG. 3.—Microfotografía electrónica del caolín de Lage.

clusión se llega al observar la pérdida de agua que sufre entre 400° y 500° C. (10,77 por 100), que corresponde prácticamente a la caolinita pura, la microfotografía (fig. 3) obtenida con el microscopio electrónico de este material acusa, como único componente, la presencia de cristales exagonales típicos de la caolinita. Sus capacidades de cambio y de adsorción de azul de metileno son bastante pequeñas, como corresponde a este tipo de materiales.

*Caolín de Chelva*

Su curva de deshidratación acusa una pérdida de humedad entre 400° y 500° de 4,61 por 100 que corresponde aproximadamente a un contenido en caolinita de un 40 por 100. Como por otra parte su

razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  es notablemente elevada (5,40), parece probable que la mayor parte de sus impurezas correspondan a cuarzo libre. Su pequeña capacidad de cambio de bases (6,10 meq/100 gr.) y su escasa plasticidad (8,86) vienen a confirmar este criterio.

### *Caolín Sangrá*

El análisis térmico diferencial de este material exhibe los efectos térmicos típicos de la caolinita con intensidades bastante acusadas. Alrededor de  $400^\circ$  presenta un ligero efecto endotérmico, debido probablemente a trazas de hidróxido de hierro. La curva de deshidrata-

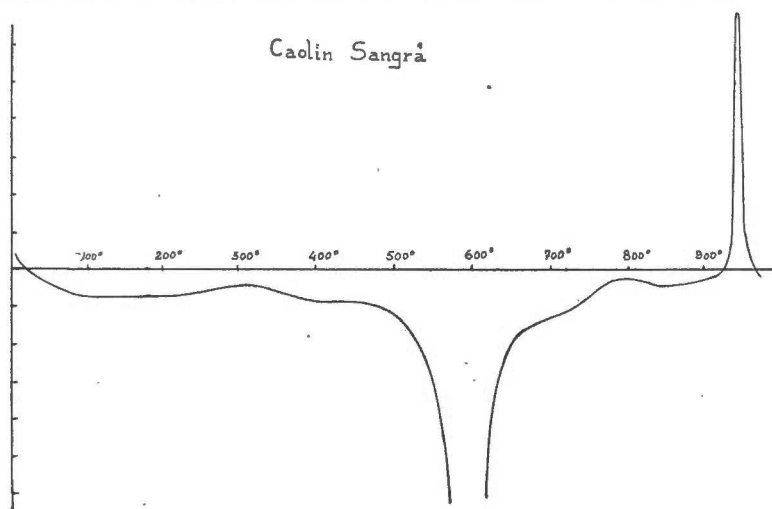


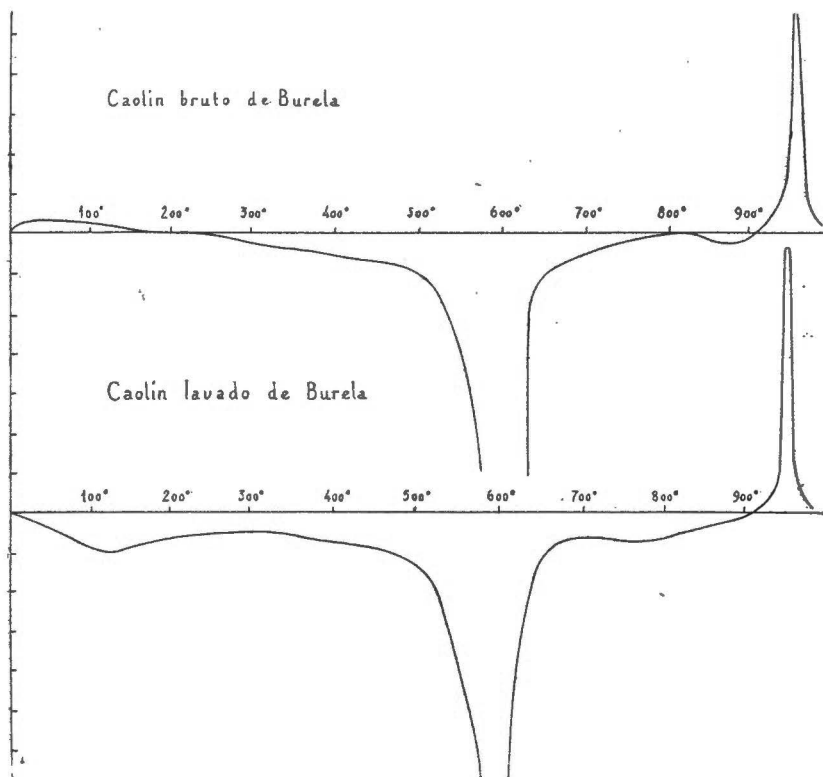
FIG. 4.

ción demuestra que hasta los  $400^\circ$  se pierde menos de un 1 por 100 de humedad y desde  $500^\circ$  hasta  $800^\circ$ , poco más del 1 por 100. Este hecho indica que las impurezas contenidas en el caolín son principalmente cuarzo y feldespato, con ausencia prácticamente total de otros minerales de la arcilla, como illita, montmorillonita, etc. En apoyo de esta observación está su razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , un poco elevada, que daría cuenta de una fracción de cuarzo libre.

### *Caolines de Burela*

Ambos presentan los efectos termoquímicos del caolín, aunque en el material bruto aparecen con menor intensidad. Las curvas de des-

hidratación ofrecen valores de pérdidas para el tránsito de 400° a 500° ligeramente diferentes para ambos caolines. El caolín lavado sufre una pérdida de agua de 8,21 por 100 y el bruto de 7,31 por 100, debido, como es natural, a la mayor riqueza en caolinita. El análisis químico da para el caolín lavado una razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  un poco superior a la que correspondería al mineral puro, y para el caolín bruto,



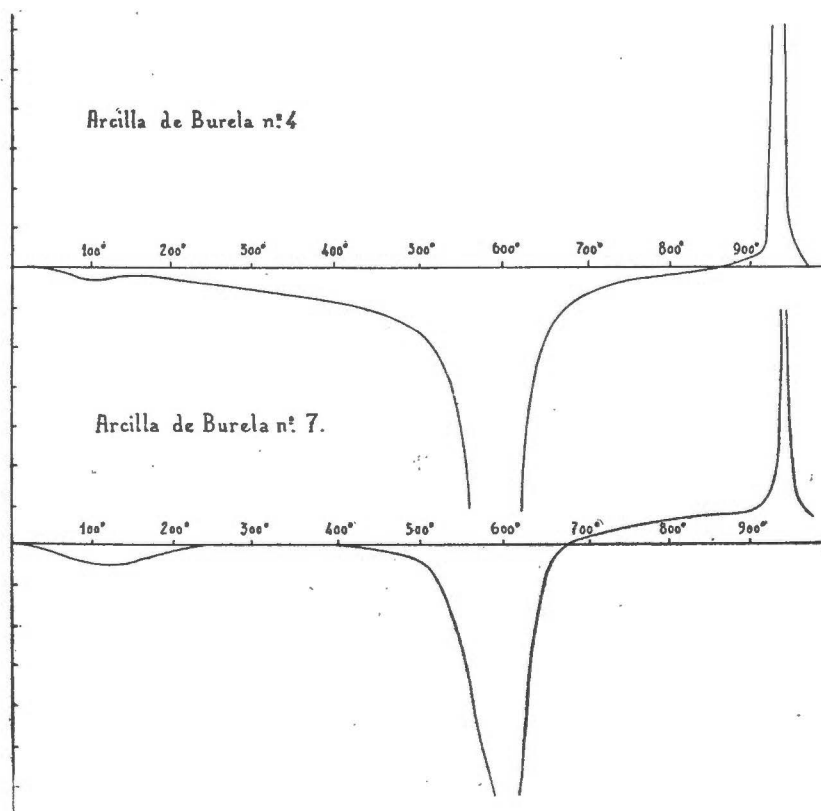
FIGS. 5 y 6.

un valor mucho más elevado. Este hecho pone de manifiesto las distintas cantidades de cuarzo libre que poseen ambas muestras y explica a su vez las diferencias existentes en la actividad superficial. El contenido en materia orgánica es mayor en el caolín lavado que en el bruto, haciendo suponer que dicha concentración se verifica en el proceso del lavado. La diferencia existente entre los valores de la plasticidad, se hace también muy ostensible.

Las curvas de contracción por calcinación acusan conductas bastante diferentes para ambos materiales.

### *Arcillas de Burela*

Los efectos térmicos que presentan estas arcillas coinciden prácticamente con los característicos de la caolinita. El último efecto tér-



Figs. 7 y 8.

miço lo presentan a temperaturas próximas a 950°. El valor de la razón molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  y la ausencia de óxido de magnesio pueden confirmarnos en dicha suposición. Los valores de la capacidad de cambio y la absorción de azul de metileno responden también a un comportamiento claramente caolínico. El contenido en materia orgánica

gánica es relativamente bajo. La cantidad de sílice libre parece ser mayor en la muestra núm. 4 que en la núm. 7, según se desprende del análisis químico, de la actividad superficial y de la plasticidad.

### *Arcilla de Dena*

Presenta dos efectos endotérmicos de muy distinta intensidad: uno pequeño a 125° C. y otro, mucho más acusado, a 600° C. A 935° se observa un brusco efecto exotérmico de gran intensidad. Ofrece unos valores para la capacidad de adsorción de azul de metileno y para

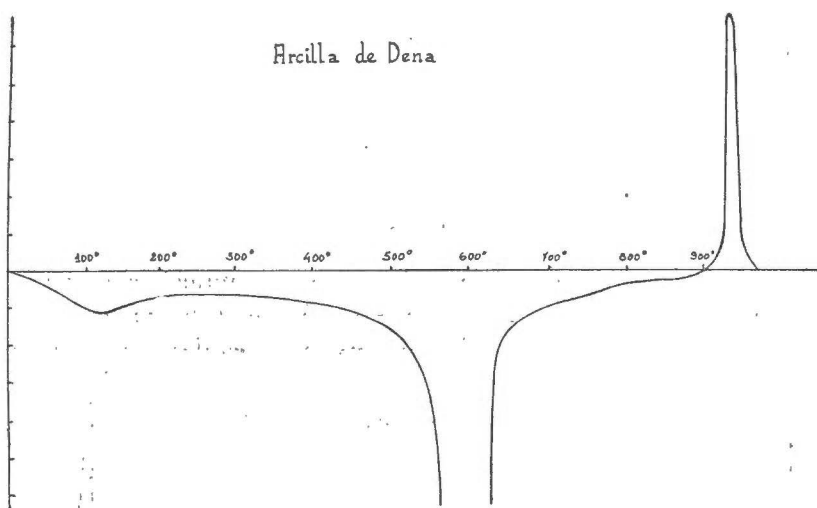


Fig. 9.

la capacidad de cambio ligeramente superiores a los que corresponden a los caolines típicos. En el proceso de la calcinación sufre una pérdida de peso de un 8,75 por 100 al pasar de 400° a 500°. Parece clara la existencia de la caolitina como mineral mayoritario, pero no queda excluida la posibilidad de la presencia de pequeñas cantidades de haloisita hidratada, que explicaría los valores ligeramente elevados de las capacidades de cambio y de adsorción, así como el corrimiento hacia bajas temperaturas del último efecto térmico.

*Arcillas de Pinell de Bray.*

Este grupo de arcillas ofrece en su análisis térmico diferencial un efecto endotérmico más o menos pronunciado, entre 100° y 150°; otro bastante intenso a 600° o temperaturas algo inferiores, y un último

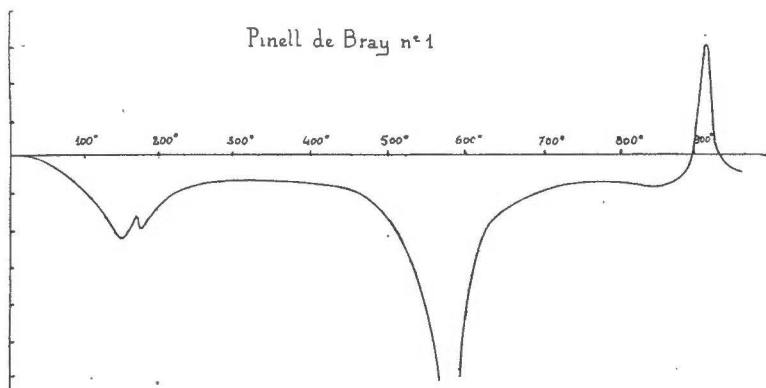


FIG. 10.

efecto exotérmico, brusco y acusado, a temperaturas comprendidas entre 900° y 930° C. Una primera observación de estas curvas nos sitúa ya ante composiciones predominantes de minerales del grupo de

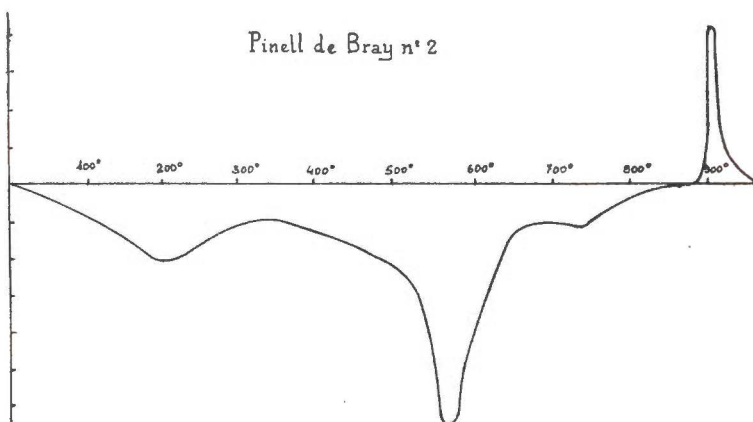


FIG. 11.

la caolinita. Ahora bien, la caolinita no presenta el efecto endotérmico observado a bajas temperaturas; su efecto endotérmico de la zona de los 600° aparece a temperaturas un poco más elevadas, y el último efecto exotérmico lo presenta a temperaturas superiores a

los 950° C. Todo ello nos hace pensar en la presencia de minerales diferentes.

Por otra parte, las capacidades de cambio de bases son más altas que las asignadas a los caolines, y esta diferencia se acusa notable-

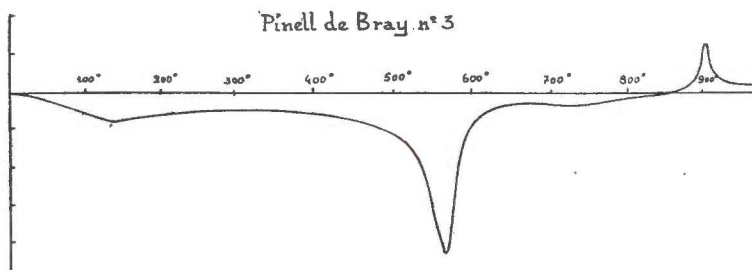


FIG. 12.

mente al considerar la capacidad de adsorción de azul de metileno. Análogas variaciones se observan al estudiar su comportamiento plástico.

La deshidratación hasta 400° es más intensa en estos materiales

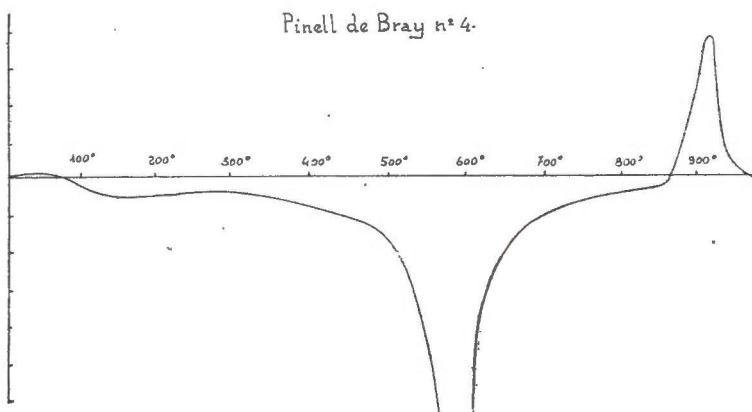


FIG. 13.

que en los caolines, y las contracciones observadas en la misma zona de temperaturas también son ligeramente superiores.

Una mezcla de haloisita en sus diversos grados de hidratación podría explicar este comportamiento. Su estructura, según Hendricks (16) es parecida a la de la caolinita, pero las láminas haloisíticas están superpuestas con menos regularidad y se encuentran sepa-

radadas por una capa de moléculas de agua, que se puede eliminar por calentamiento a bajas temperaturas (inferior a 50° C.). De esta forma se obtiene la metahaloisita con una composición análoga a la de

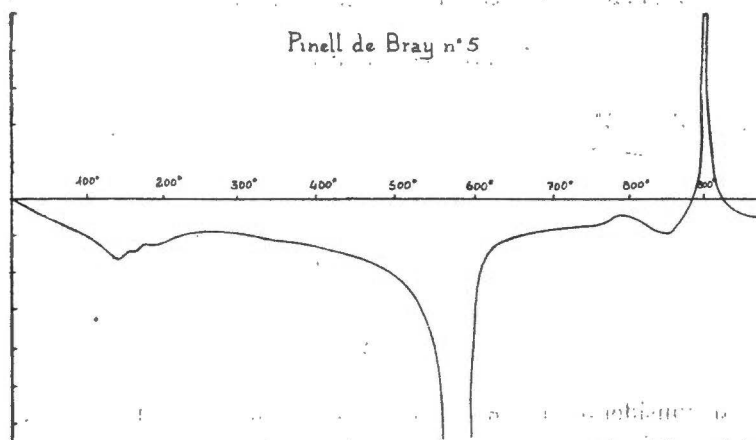


FIG. 14.

la caolinita, pero en grado superior de desordenación. Se ha demostrado (23) la aptitud de la haloisita para realizar adsorciones intralaminares de sustancias orgánicas y además está comprobado (29)

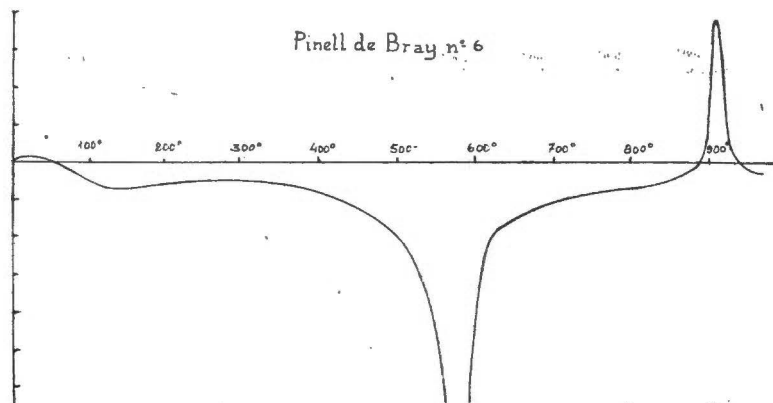


FIG. 15.

que la capacidad de cambio de bases puede variar desde 50 meq/100 gramos para la haloisita hidratada hasta 5 meq/100 gr. para la metahaloisita. Estos hechos concuerdan perfectamente con el comporta-



miento de las arcillas de Pinell de Bray en lo referente a sus capacidades de cambio y de adsorción, y a la manifestación de un efecto endotérmico a bajas temperaturas. También explica la haloisita par-

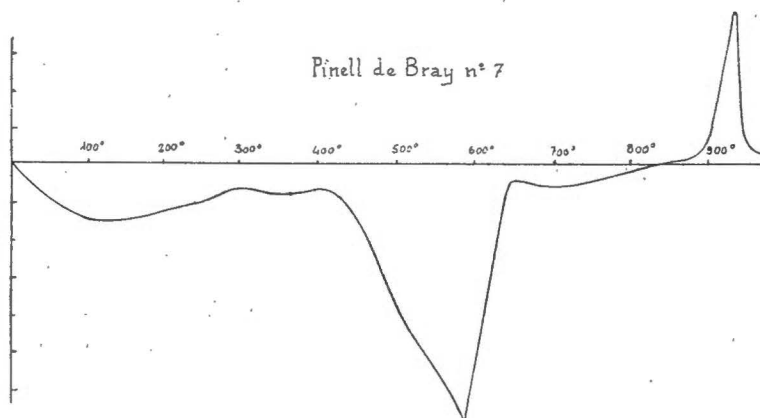


FIG. 16.

cialmente hidratada las pérdidas ocurridas en la primera fase de la calcinación, así como la contracción manifiesta que sufren dichas arcillas en la misma zona de temperaturas. Estas contracciones pue-

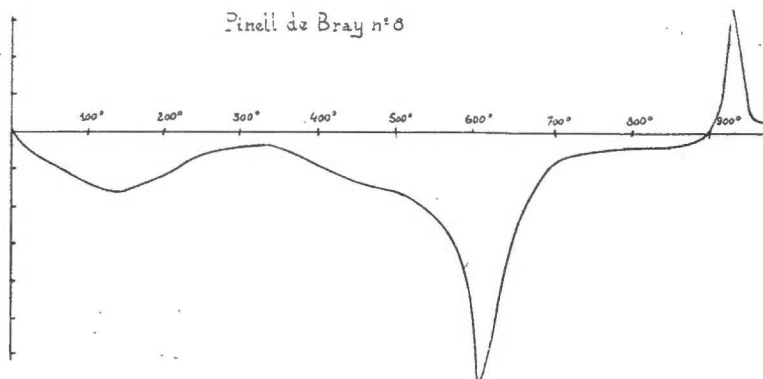


FIG. 17.

den ser originadas por expulsión del agua interlamilar y acercamiento mutuo entre las láminas.

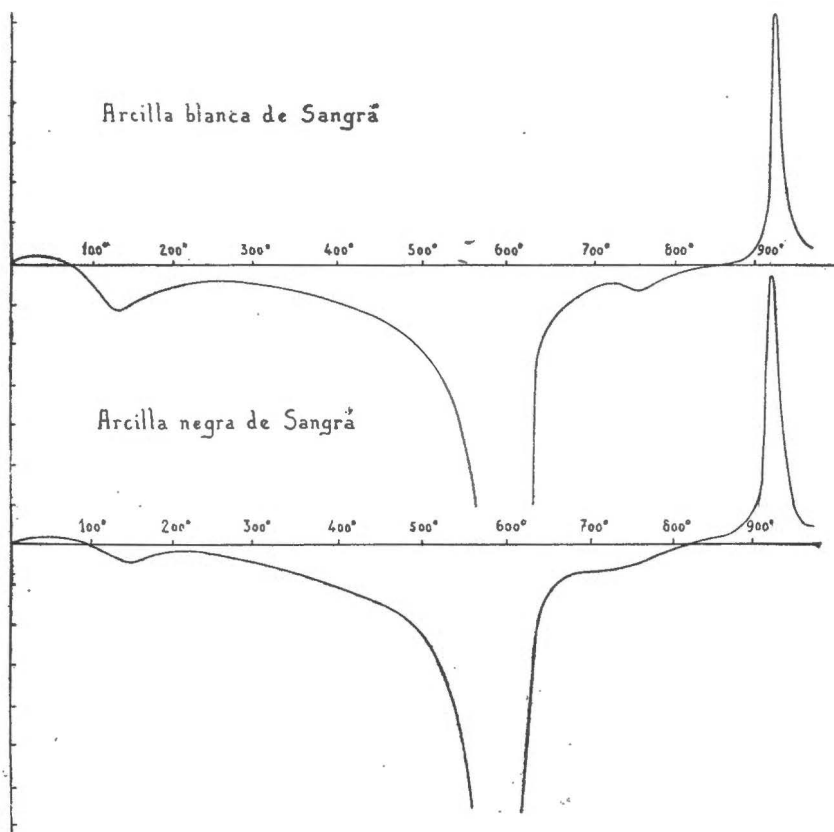
En correspondencia con el desplazamiento hacia temperaturas inferiores del último efecto térmico de las arcillas de Pinell de Bray, se encuentra el hecho de que en las curvas de contracción por calcinación, la zona de fuertes contracciones también se encuentra des-

plazada hacia temperaturas inferiores con relación a los caolines. De ambos hechos podría dar cuenta la presencia de haloisita, que ofreciendo una estructura menos ordenada y compacta, facilitase las transformaciones que se realizan a dichas temperaturas.

Las muestras números 3 y 7 parecen contener mayor cantidad de materiales inertes, como cuarzo, a juzgar por sus efectos térmicos, menos pronunciados, por su elevada razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  y por la menor actividad superficial que presentan en relación con las restantes muestras de la serie.

### *Arcillas de Sangrã.*

Este grupo de arcillas de La Cañada de Verich, muy utilizadas por la industria cerámica nacional, forman un conjunto de materiales



FIGS. 18. Y 19.

de gran laborabilidad. Durante el cocido blanquean casi totalmente y adquieren gran consistencia. Sus puntos de sinterización se hallan aproximadamente a 1.130° C. Las curvas de análisis térmico diferencial presentan gran analogía con las obtenidas para las arcillas de Pinell de Bray. Las deshidrataciones hasta 400° son superiores a las que ofrecen los caolines típicos, y las pérdidas entre 400° y 500°

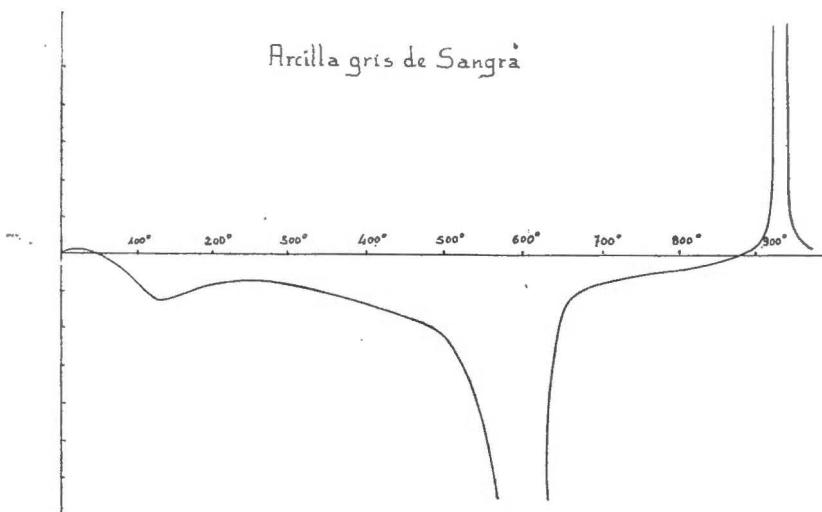


FIG. 20.

son muy elevadas. La curva de contracción por calcinación pone de manifiesto una brusca contracción alrededor de los 900° C., como ocurre en las arcillas de Pinell de Bray.

Por otra parte, las capacidades de cambio de bases y de adsorción de azul de metileno son de gran consideración.

La valoración de estos resultados nos induce a creer que nos encontramos de nuevo ante un grupo de materiales de naturaleza haloisítica. Las divergencias cuantitativas observadas con respecto a las arcillas de Pinell de Bray parecen indicar la presencia de mayores proporciones de haloisita hidratada, así como, en conjunto, una mayor riqueza en minerales de arcilla, en detrimento de materiales inertes, como el cuarzo. Esta suposición puede estar apoyada por la aparición de valores elevados en la deshidratación entre 400° y 500° y por la disminución de la razón molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Poseen también estas arcillas cantidades apreciables de materia orgánica, en proporción creciente desde la blanca a la negra. La dis-

tinta coloración que presentan en verde y el blanqueamiento que sufren en el horno pueden atribuirse a la materia orgánica.

### *Arcillas de Aranjuez.*

Estas muestras ofrecen un gran paralelismo en sus curvas de análisis térmico diferencial. Presentan tres efectos endotérmicos bien definidos: el primero a unos 170°, el segundo, más acusado que el

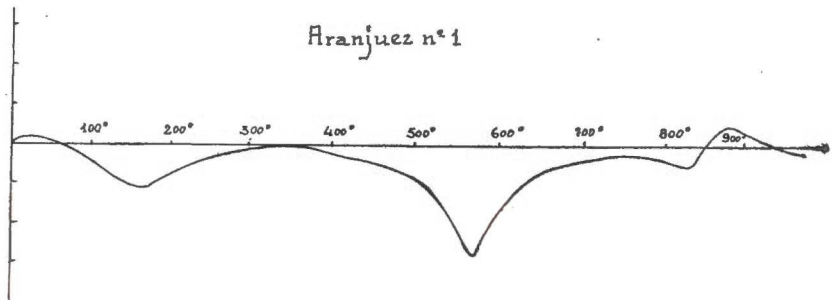


FIG. 21.

anterior, a 570°, y el tercero a 825° C. Este último efecto va seguido inmediatamente por un pico exotérmico, con máximo en 885° C. Por la marcha de estas curvas y por los correspondientes valores de las

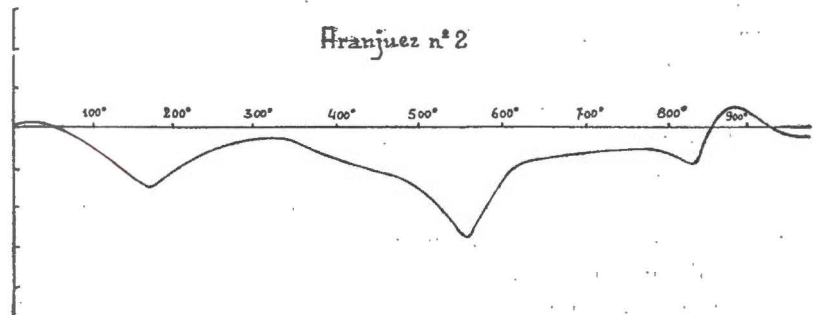


FIG. 22.

capacidades de cambio y de adsorción, nos atrevemos a asignarles una naturaleza ílítica neta. Entre 400° y 500° se observa un efecto endotérmico debido probablemente a la deshidratación de los geles de hidróxido de hierro, que se encuentran en cierta abundancia.

*Arcilla de Norah.*

La arcilla de Norah, también de naturaleza ilitica, presenta gran analogía en su constitución y comportamiento con las arcillas de Aranjuez.

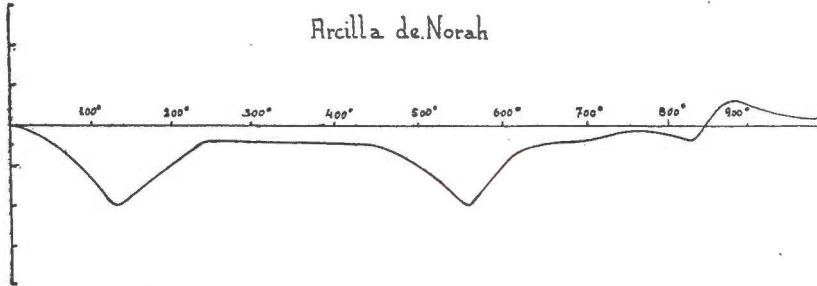


FIG. 23.

*Sub-bentonita de Bocoia*

El análisis térmico diferencial acusa los efectos típicos de los minerales del grupo de la montmorillonita. Su curva de deshidratación indica que la cantidad de agua retenida por adsorción es muy elevada, y que la destrucción de la red se verifica en un amplio inter-

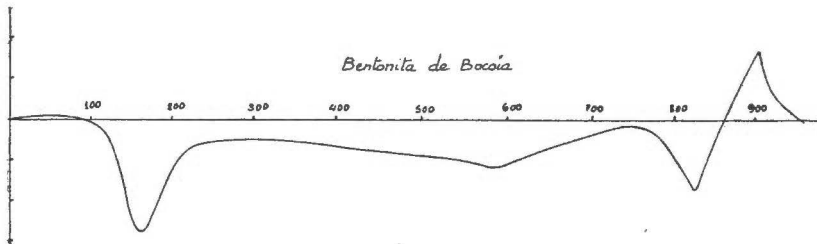


FIG. 24.

valo de temperaturas. La razón molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  es 5,06, valor que encaja perfectamente en una estructura montmorillonítica. Como por otra parte sus capacidades de adsorción de azul de metileno y de cambio de bases son bastante considerables, confirmamos nuestra idea de que se trata de un material montmorillonítico. Su gran

contenido en carbonatos y óxidos de calcio y magnesio nos hacen suponer que los minerales mayoritarios están impurificados principalmente por carbonatos de calcio y de magnesio.

INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL.  
*Sección de Química-Física de Madrid.*

#### RESUMEN

Se ha estudiado un grupo de materiales arcillosos españoles de interés industrial. El objeto fundamental de este trabajo es el de la identificación de las materias primas empleadas. Para ello se ha realizado el análisis químico y mecánico, el análisis térmico ponderal y diferencial y se ha investigado asimismo la presencia de geles orgánicos e inorgánicos y la actividad superficial de los productos naturales. Los resultados obtenidos han permitido agrupar las muestras estudiadas en: caolines, arcillas haloisíticas, arcillas iliticas, arcillas montmorilloníticas y materiales cuarzosos.

En la última parte del trabajo se valoran los resultados obtenidos en cada materia en particular y se esquematizan sus características.

Se ha observado que la capacidad de cambio de bases está ligada primordialmente a la naturaleza de los minerales predominantes en la arcilla. La sub-bentonita de Bocoia, constituida esencialmente por minerales del grupo de la montmorillonita, ofrece una capacidad de cambio bastante elevada (68,43 meq/100 gr.). Las arcillas de base ilitica (Aranjuez, Norah, Talavera, Logroño, Benasal, Río Cerámica, Estela, Pinilla) poseen una capacidad de cambio que no sobrepasa los 49 meq/100 gr. Las arcillas haloisíticas (Pinell de Bray y Sangrá) tienen capacidad de cambio que no rebasa los 26 meq/100 gr. y los caolines no suelen pasar de los 15 meq/100 gr.

La finura de grano que en los materiales de idéntica constitución puede afectar directamente a la capacidad de cambio de bases y de adsorción de azul de metileno, pierde gran significación en arcillas naturales, cuya riqueza en minerales activos puede ser muy diferente.

Los materiales estudiados no poseen proporciones de sustancia amorfa suficientes para modificar sensiblemente las conclusiones obtenidas, respecto a la capacidad de cambio y de adsorción de azul de metileno en relación con su naturaleza mineralógica.

El material montmorillonítico estudiado posee una capacidad de adsorción de azul de metileno de 159,9 mgr/gr. Las arcillas iliticas tienen como máximo capacidades de adsorción de 76 mgr/gr. Las arcillas haloisíticas presentan valores para la adsorción no superiores a los 68 mgr/gr., y por último, los caolines no adsorben más de 12 mgr/gr. de azul de metileno.

La investigación realizada en el grupo de arcillas refractarias de Pinell de Bray nos ha permitido relacionar en cierto modo la refractoriedad con una composición de tipo haloisítico.

## SUMMARY

A group of Spanish clay materials which is of industrial interest, was studied. The object of the present paper is the identification of the raw materials used. For this reason the chemical, mechanical, thermal ponderal and differential analysis were carried out, as well as the investigation on the presence of organic and inorganic gels and the surface activity of natural products. The results obtained enabled us to group the samples studied into: kaolins, halloysite clays, illite clays, montmorillonite clays and materials containing quartz.

In the last part of the paper the results obtained are determined in each material in particular and its characteristics are schematized.

It was observed that the exchange capacity of bases depends primarily on the nature of the minerals predominating in clays. The sub-bentonite from Bocoia, consisting essentially of minerals of the montmorillonite group, show a rather high exchange capacity (68.43 meq/100 gr). The illite clays (Aranjuez, Norah, Talavera, Logroño, Benasal, Río Cerámica, Estela, Pinilla) possess an exchange capacity that does not exceed 49 meq/100 gr. The exchange capacity of the halloysite clays does not exceed 26 meq/100 gr, and that of kaolins 15 meq/100 gr.

The fineness of the grain that in materials of identical constitution may directly influence the exchange capacity of bases and adsorption of methylene blue, loses importance in natural clays, the richness of which in active minerals may be very different.

The materials studied do not possess sufficient proportions of amorphous substances to modify greatly the conclusions obtained with regard to the exchange capacity and adsorption of methylene blue in relation to their mineralogical nature.

The montmorillonite material studied possesses an adsorption capacity for methylene blue of 159.9 mgr/gr. The maximum adsorption capacity of illite clays is 76 mgr/gr. The halloysite clays show adsorption values not higher than 68 mgr/gr and finally, the kaolins do not adsorb more than 12 mgr/gr of methylene blue.

The investigations carried out with the group of refractory clays from Pinell de Bray allowed us to relate in a certain manner the refractivity to a composition of halloysite type.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALEXANDRE, V. 1949. *Anal. Edaf.* VIII: 33.
- (2) ——— y GARCÍA VERDUCH, A. 1950. *Anal. Edaf.* IX: 537.
- (3) ARKEL, A. E. VAN y DE BOER, J. H. 1931. *Chemische Bindung als electrostatische Erscheinung.* Leipzig.
- (4) BURRIEL, F., GUERRA, A. y FÁBREGAS, R. 1950. *Anal. Edaf.* IX: 339.
- (5) CAILLÈRE, S. y HENIN, S. 1939. *Compte Rendue.* 209: 684.
- (6) CERNESCU, N. 1933. Dis. 661 Eidg. Techn. Hochsch. Zürich.
- (7) CUTHBERT, F. L. y ROWLAND, R. A. 1947. *Amer. Min.* 32: 111.
- (8) DU RIETZ, C. 1939. Dis. 1938. Estocolmo.
- (9) DUCLAUX, J. 1907. *J. Chim. Phys.* 5: 29.
- (10) GOLDSCHMIDT, V. M. 1927. *Deut. Chem. Ges. Ber.* 60: 1.263.

- (11) GRIMM, R. E. 1947. *Amer. Min.* 32: 493.
- (12) ——— y BRADLEY, W. F. 1940. *J. Am. Cer. Soc.* 23: 242.
- (13) ——— y ROWLAND, R. A. 1942. *Amer. Min.* 27: 746 y 27: 801.
- (14) GRIMSHAW, W., HEATON, E. y ROBERTS, A. L. 1945. *Trans. Brit. Cer. Soc.* 44: 91.
- (15) HAEN, *Ann. Ch. u. Pharm.* 90: 160.
- (16) HENDRICKS, S. B. 1938. *Amer. Min.* 23: 295.
- (17) ——— 1942. *J. Geol.* 50: 276.
- (18) INSLEY, H. y EWELL, R. H. 1935. *J. Res. Nat. Bur. Stand.* 14: 615.
- (19) JACKSON, M. L. y TROUG, E. 1939. *Soil. Sci. Asoc. Am. Proc.* 4: 136.
- (20) JAKOB, J. 1944. Guía para el análisis químico de las rocas. Madrid.
- (21) JOURDAIN, A. 1937. *Ceramique.* 40: 135.
- (22) KELLEY, W. P. y JENNY, H. 1936. *Soil Sci.* 41: 367.
- (23) MAC EWAN, D. M. C. y TALIB UDDIN, C. 1949. *Bull. Soc. Chim. France.* 16: 37.
- (24) MARSHALL, C. E. 1937. *Jour. Phys. Chem.* 41: 935.
- (25) MATTON, S. 1926. *J. Agr. Res.* 33: 553.
- (26) NORTON, F. H. 1939. *J. Amer. Cer. Soc.* 22: 54.
- (27) ORCEL, L. y CAILLERE, S. 1933. *Compte Rendue.* 197: 774.
- (28) PAULING, L. 1927. *J. Amer. Chem. Soc.* 49: 765.
- (29) RIVIERE, A. 1950. *Clay Min. Bull.* 4: 121.
- (30) TAMM, O. 1922. Meddelanden fran Statens Skogsforsöksanstall. Stokholm Hef. 19.384.
- (31) THILO, E. y SCHÜNEMANN, H. 1937. *Z. anorg. allgem. Chem.* 230: 321.
- (32) ULICH, H. 1933. Hand-u Jahrbuch Chem. Phys. Leipzig.
- (33) WIEGNER, G. 1936. Comunicación 3<sup>er</sup> Congr. Intern. del Suelo. 3: 5.



# SOBRE LA INFLUENCIA DEL ABONADO FOSFATADO EN LA COMPOSICION QUIMICA DE LOS FORRAJES

por

FERNANDO BURRIEL MARTI y ANDRES SUAREZ Y SUAREZ

## INTRODUCCIÓN

La producción ganadera, decía Hart en el XIV Congreso Internacional de Veterinaria celebrado en Londres en agosto de 1949, depende de la cantidad y de la calidad de las plantas utilizadas en la alimentación de los animales. El ideal consiste, añade él, en obtener un crecimiento constante de los animales mediante un régimen vegetal completo y en cantidad suficiente.

La trascendencia aun es mayor si se tienen en cuenta las repercusiones que una alimentación poco adecuada, cuantitativa o cualitativamente considerada, puede tener sobre el estado sanitario de los animales. Sin temor a equivocarse puede decirse que las condiciones sanitarias de los animales son un índice del valor nutritivo de los alimentos que ingieren, y el citado Hart dice a este respecto que la profilaxis de las pestes, grandes destructoras de la fauna, ha iniciado la vía del progreso en la solución de los problemas más delicados de la nutrición, de la reproducción, de la herencia y del medio. Todo esto amén de la influencia que la alimentación tiene en la constitución de los animales.

Entre las inapropiadas condiciones que los alimentos pueden reunir existe un grupo de ellas, desconocidas antes del comienzo de este siglo, y que en esta media centuria transcurrida han alcanzado un desarrollo, y con ello una importancia verdaderamente extraordinaria: nos referimos a ese grupo de enfermedades que inicialmente fueron conocidas bajo la denominación, poco concreta, de «enfermedades por deficiencia» (*deficiency disease*), y dentro de este grupo, y

ocupando un lugar preeminente, se encuentran las deficiencias minerales, que revisten en Ganadería una importancia aún mayor que las deficiencias vitamínicas.

Pero conviene subrayar que estas repercusiones sobre los animales no se producen de una manera simplista; son el resultado de un conjunto de relaciones del suelo deficiente con los vegetales que en él toman vida, por un lado, y por otro de la directa influencia de éstos sobre las especies animales que en ellos se nutren. Por esta razón no puede llegarse a la verdadera tipificación del problema si no se hace el estudio siguiendo la disposición natural de los factores que intervienen, es decir, teniendo presente las tres fases del complejo suelo-planta-animal, que deben ser considerados a la vez y en modo alguno aisladamente, porque no es así como, naturalmente, obran ellos, sino siendo el uno fiel reflejo del otro.

Cuando son estudiados estos problemas, y se hace ordinariamente, desde el punto de vista de los biólogos, entonces se desprecia, o por lo menos no se valorá como debiera hacerse, la intervención del suelo, y de ahí lo incompleto que resulta. Debemos de considerar con Lundegardh (30) al suelo como el puente tendido entre lo geológico y lo biológico. La roca no tiene facilidad de impulso al mundo biológico, pero el suelo ya se puede enfrentar con el sistema disperso de la raíz de los vegetales (1).

De los elementos minerales que son tomados del suelo, no todos son requeridos en las mismas proporciones, hasta tal punto que este detalle ha servido para clasificarlos, fundándose en las necesidades cuantitativas que de ellos tienen las plantas y los animales; y así se habla de macrofactores y microfactores y modernamente se quiere incluir una categoría intermedia: las de los mesofactores.

El contenido que de estos elementos minerales posea el suelo y también la disposición estructural que dentro del suelo presenten, se reflejará, en última instancia, en el organismo de los animales que sobre aquel suelo viven y a través, desde luego, de los vegetales que produce.

En estos problemas de deficiencias minerales debe realmente tomar un principalísimo papel el veterinario (35), pues son cuestiones que directamente se hallan relacionadas con su misión.

Demostrada la estrecha relación que los elementos minerales del complejo suelo-planta-animal tienen entre sí, tratamos en el presente trabajo de medir la repercusión que las variaciones de la composición del suelo tienen en la de las plantas que soportan.

De todos los elementos minerales que de una manera constante se encuentran en las cenizas de los vegetales y que dentro de la fisiología de las plantas y animales tienen un papel que cumplir, plástico o catalítico, está en un primerísimo lugar el fósforo. A él nos referimos en este trabajo y utilizaremos como variable, cuya acción tratamos de medir, la proporción en que se encuentra en el terreno y su influencia sobre la composición química de las plantas en estas condiciones cultivadas.

En el desarrollo del trabajo vamos a distinguir dos partes, la primera teórica, constituida por dos capítulos, uno dedicado a la justificación del mismo, y un segundo capítulo con los antecedentes y estado actual del problema; la segunda parte, es la propiamente experimental.

## P A R T E T E Ó R I C A

### JUSTIFICACIÓN

Desde los tiempos más remotos ha sido para los agricultores una acuciente preocupación la de proporcionar a sus tierras los elementos que con sus cosechas le sustraían, pero no en todos los tiempos es el mismo criterio el que preside esta adición.

Muy discutidos han sido a lo largo de la historia, los principios fundamentales de la nutrición de las plantas, y parejas a ellos, han corrido análogas vicisitudes, los criterios de fertilización usados.

El que predomina hoy es el ecléctico, en el cual sin admitir la exclusiva alimentación de las plantas a partir de sustancias minerales, siguen considerándose éstas como casi la única forma de absorción; y vinculando a la presencia del humus funciones tan interesantes como son la acción modificadora de las propiedades físicas del suelo, y otras interesantes acciones de orden físico-químico, cuales son las debidas a su naturaleza coloidal.

Finalmente, es el humus factor primordial en el desarrollo de todos los fenómenos biológicos del suelo, elemento que asegura la presencia y continuidad de la flora bacteriana en el mismo y con ello el principal papel que juega en la nutrición de las plantas.

No es necesario aducir complicadas argumentaciones para demostrar la importancia que en la vida animal juega el fósforo y también resulta innecesario realzar que esta acción del fósforo sobre

los animales será siempre la resultante de la actuación del complejo suelo-planta que a través de la alimentación manifestará su influencia sobre la constitución, productividad, patología, etc., de los animales.

Aunque se admite que aproximadamente las cuatro quintas partes de los suelos españoles son deficientes en fósforo, o bien presentan este componente en forma no asimilable, es bien cierto que los datos de que se disponen sobre los contenidos de fósforo de nuestra tierra de cultivo así como de la distribución que los suelos deficientes tienen dentro de la geografía agrícola de nuestra Patria, son muy escasos.

Los datos más concretos y recogidos en forma más ordenada y sistemática, son los publicados por la Comisión Directora del Mapa Agronómico Nacional, siguiendo las directrices fijadas por el Ministerio de Agricultura en Ordenes ministeriales del 7 de noviembre de 1940 y 5 de febrero de 1942. La orientación dada a estos trabajos es francamente interesante y habrá de ser tenida en cuenta en cualquier estudio de tipo agrícola o ganadero que se trate de hacer en las diversas zonas españolas, pero hasta el momento sólo van publicadas 17 hojas del mismo, lo cual representan datos de una extensión aproximada de 850.000 Ha., que comparado con la extensión total de la península es, hasta el momento, poco representativa; sin embargo, se refieren a zonas distinguidas de España y por ello son ya un índice bastante interesante de esta marcha hacia la cualificación de nuestras tierras de cultivo.

En la comarca de Zaragoza—una de las estudiadas—y para una extensión de 205.558 Ha. de suelos limo arenosos o areno limosos con caliza, y después de realizar análisis de un total de 450 muestras, se encontró que a excepción de una pequeña zona, perteneciente al término municipal de Fuentes del Ebro, todos los demás terrenos son de una indudable pobreza en fosfórico, los mismo en secano que en regadío, llegando a pobrezas extremas, que han de considerarse aún mucho más graves si se tiene en cuenta la fuerte riqueza en cal, falta de materia orgánica y elevado valor de pH de estos suelos.

Otra interesante zona estudiada por la Comisión del Mapa Agronómico Nacional es la de los Valles del Besaya y Pas. Se trata, en este caso, de suelos de consistencia media, bien provistos de materia orgánica, muy descalcificados, con una reacción ligeramente ácida. En estos suelos el valor medio de fósforo total no es nunca

superior al 0,070 por 100 gramos de tierra desecada a 110°. Todos tienen bajos porcentajes de fósforo asimilable y necesitan para ser cultivados en forma óptima, adiciones de cal y fosfórico.

De la zona levantina han sido publicadas tres Cuadrículas: El Llano, San Javier y Fuente Alamo. Son tierras preferentemente calizas (calcio-limo-arenosas), pobres en materia orgánica. Los valores más altos no pasan de 0,160 por 100 y hay un gran número de suelos con provisiones inferiores a 0,050, que son francamente pobres en ácido fosfórico, máxime teniendo en cuenta el carácter calizo de estos suelos.

De la zona central de la Península han sido confeccionadas las Hojas números 629, 604, 605 y 630, que son las correspondientes a las comarcas de Toledo, Villaluenga, Aranjuez y Yepes, la mayor parte de la extensión de estas zonas es meseta, de altura media de 600 metros, y con un clima entre continental (Aranjuez) y templado, pero extremado en las otras zonas. Son tierras calizas sueltas y muy pobres en materia orgánica.

Las tres primeras son todas ellas zonas pobres en fosfórico, con una relación  $\frac{P_2O_5 \text{ asimilable}}{P_2O_5 \text{ total}}$  muy baja; por el contrario, en la zona de Yepes se encuentran terrenos bien provistos de fósforo y con un valor, para la relación, que se aproxima a la unidad (0,68 - 0,66), no obstante lo cual se aconseja la adición de superfosfatos en proporciones no inferiores a 300 kilogramos por hectárea.

También se encuentran fielmente reflejadas en el Mapa Agronómico las cuadrículas correspondientes a Alcalá de Henares, Cercedilla (Madrid) y Carmona (Sevilla).

La de Alcalá de Henares es una zona eminentemente cerealista, de meseta, con una altitud media de 660 metros y un clima continental extremado. Suelos de consistencia media, con una riqueza en materia orgánica muy pequeña, debido a la fuerte descomposición a que está sometida en estos terrenos; en ella existen zonas regularmente provistas de fosfórico y otras, las más abundantes, pobres en él.

Cercedilla es una comarca eminentemente forestal, suelos ligeramente ácidos, pobres en fósforo total y asimilable.

Corresponde a Carmona la Hoja número 985; incluye la misma una zona de clima subtropical, con suelos de reacción ligeramente alcalina, pobre en materia orgánica, pobreza que no se ve nivelada por la escasez de peso vivo por Ha. De los análisis realizados

sobre suelos de esta zona, se obtiene un porcentaje del 60 por 100 aproximadamente de los mismos con deficiencia en fósforo.

Estos datos, si bien es verdad que son escasos, no representan más allá del uno y medio por ciento de la superficie total de la Península, son los suficientemente elocuentes para el fin que nos proponemos al relatarlos; demuestran bien palpablemente *la pobreza acentuada de nuestros terrenos en fósforo* y justifican la preocupación que sentimos por este problema y sus repercusiones en Agricultura y Ganadería, y la necesidad de realizar estudios que nos permitan establecer la verdadera gravedad, así como los medios más adecuados para remediar tal situación.

EL INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, está dando los primeros pasos para realizar estos estudios sistemáticos de los elementos fertilizantes en los suelos españoles de gran interés agrícola.

De otras naciones existen algunos datos que nos demuestran la falta de provisiones de fósforo que la mayoría de ellas tienen.

Los porcentajes establecidos por Barbier (4) para los suelos de Francia, según los datos recogidos por las Estaciones Agronómicas regionales, fueron los siguientes:

Muy pobres en $P_2O_5$ ... ..	50 %
Pobres en $P_2O_5$ ... ..	18 %
Medias en $P_2O_5$ ... ..	11,6 %
Ricas en $P_2O_5$ ... ..	7,2 %
Muy ricas en $P_2O_5$ ... ..	13,2 %

No deja de tener interés la osteomalacia, tan endémica en Champaigne, conocida por el nombre de «mal de Champaigne» y cuya desaparición, hace ya cerca de medio siglo, se debe al empleo del abono fosfatado; su presencia se hizo patente en 1942 por las razones ya tan repetidas, para volver a tender a su desaparición en 1945 con el empleo de los abonos fosfatados.

Aunque sin duda sea Francia uno de los países que más han sufrido las consecuencias de la falta de abonos fosfatados y por otra parte también sea quizá el país que con más intensa preocupación abordó el estudio del problema, bien es verdad que no es ella sola quien sufre las consecuencias, y así nos encontramos que en la mayor parte de las naciones, ya autorizados tratadistas han dado la voz de alarma sobre tan grave e interesante problema.

Barbieri (5) y Rubino (43), en cientos de análisis verificados en tierras vírgenes de todo el país (Uruguay), obtienen contenidos en  $P_2O_5$  inferiores al 0,5 por 100.

En los suelos de Colombia también han sido hechas investigaciones por Anzinar Sordo (3) lo suficientemente demostrativas para poder asegurar que hay una deficiencia general en los suelos de Colombia en fósforo y en potasio.

El autor alemán Gericke (19) y apoyándose en un conjunto de documentos experimentales desarrolla la tesis de que el abonado fosfatado es esencial para el desenvolvimiento de la producción agrícola alemana y aconseja aumentar los aportes de ácido fosfórico.

Los datos relativos a la Argentina se los debemos a Boto (8); según él, hace treinta y cinco años que la mayor parte de los suelos argentinos se mostraron deficientes en fósforo.

Franck (15) nos habla de Suecia y emplea los mismos términos; para él, los suelos de esta nación son en un 70, 80 y hasta 90 por 100 de los casos deficientes en fosfato.

Para los suelos en Noruega los porcentajes fijados por Lag (28) después de realizar análisis de 7.000 muestras de suelos de las diferentes zonas del país, sólo el 10 por 100 de ellos sobrepasa el límite superior mientras que el 40 por 100 manifiesta una intensa necesidad de fósforo.

Baeyens y Stenuit, en su interesante monografía «La situación nutritive et les besoins en engrais des sol belges», y después de realizar análisis de más de 61.300 parcelas del país, concluyen que el 57,1 por 100 de los suelos son marcadamente deficientes en fósforo y además que tales cifras se han agravado durante los años 1945-1946.

En los Estados Unidos, diversas Estaciones Experimentales han señalado, en repetidas ocasiones, deficiencias en determinadas zonas del país; sin embargo, es posible que el problema no haya alcanzado la gravedad que en Europa por no haber sufrido de manera tan directa las consecuencias de la guerra y, por otra parte, se hace más por evitar estos fenómenos y se cuenta allí con una enorme cantidad de medios para evitarlos; así nos encontramos con que sólo el Servicio de Conservación del Suelo invirtió más de 2.000.000 de dólares en abonos fosfatados.

La reciente misión efectuada en Africa Occidental (45) informa que los suelos de Nigeria, del Norte de Gambia y del Volta, en la Costa de Oro, son deficientes en fósforo.

En Egipto los terrenos de aluviones del Nilo y los del cauce son muy pobres en fósforo, con una apreciable pérdida, aproximadamente evaluada en los 1,6 millones de hectáreas de tierra de 37.000 toneladas métricas por año (20).

Siria y Etiopía mostraron también deficiencia en la mayoría de sus suelos.

En el Este de Escocia, de cerca de 6.000 muestras analizadas, el 23 por 100 eran deficientes; el 45 por 100, de contenido medio, y el 32 por 100, ricas en fósforo asimilable (51).

Y en Italia, de 738 muestras, solamente el 8 por 100 contenían fósforo en proporción suficiente para una producción intensiva, las restantes eran deficientes en fósforo (49).

Esta falta de fósforo en los suelos que, como demuestran los datos que anteceden, es un verdadero y grave problema para la agricultura y ganadería, adquiere unos caracteres aún más graves en los países tropicales y subtropicales, consecuencias de las variaciones que en los contenidos de minerales producen los cambios estacionales, según ha demostrado J. L. Schofield (47).

En este sentido tiene un gran valor científico e histórico los trabajos de los veterinarios Theiler y Green (53), que aparte del mérito del estudio que desde el punto de vista de la sistematización de las enfermedades del metabolismo del calcio y fósforo realizaron, tuvieron el acierto de vincular la etiología de aquellas alteraciones a la pobreza en fósforo de aquellos suelos y con el clima.

Sobre estas zonas tienen también interés los trabajos publicados por Lesage (29), cuyos temas fueron tratados en el Congreso Internacional de Agricultura Tropical, celebrado en París, en septiembre de 1937, en el que se aprobaron tan importantes conclusiones como adoptar una política de cría de ganado en estos países, basada en la utilización de abonos fosfatados y coloca bajo el control de los servicios zootécnicos los pastos de ensayos que a estos fines habían de crearse.

Planteadas en esta forma la cuestión y sentado que la adición de fosfatos a los suelos agrícolas es imprescindible si se quiere asegurar la nutrición de las plantas y con ello la cantidad y calidad de nuestras cosechas, base de la alimentación humana y animal, surge la pregunta inquietante de si llegará un momento en que agotadas las reservas sea imposible todo cultivo.

Si bien es verdad que las reservas que de fosfato tiene el mundo son notables, también lo son las pérdidas que de este elemento cons-



tantemente sufrimos; las cantidades que expresan las pérdidas, por erosión y cultivo de los suelos son enormes, y a ello hay que añadir el aumento de demanda de abonos fosfatados por la puesta en cultivo de extensiones que antes no lo estaban y por el empleo de los mismos en regiones que hasta el presente no necesitaron su utilización.

Una Subcomisión creada por el Congreso calcula que seguidas las pérdidas a este ritmo, las reservas de fosfatos contenidas en el suelo de los Estados Unidos se habrán gastado en 240 años, y antes de este momento ya las condiciones serían francamente intolerables y no permitirían realizar cultivos en vastas extensiones, lo que provocaría la desaparición de pueblos y civilizaciones que sobre ellos se asientan; esto no es imposible, pues las posibilidades de existencia que la tierra nos ofrecería, supuesto el agotamiento de las reservas de fosfatos, no podrían alcanzar más allá de una pequeña parte de la población. Liebig ya escribió que la desaparición de las civilizaciones de Mesopotamia y Cartago derivaban de la no utilización de abonos fosfatados (7).

Estudiando estos puntos, Ogg (34) considera las enormes cantidades de fosfatos que las tierras de cultivos ceden constantemente al mar, y cree por ello que la Humanidad sufrirá algún día una deficiencia de fósforo que repercutirá, desde luego, en la producción de alimentos. Para evitarlo propone: 1.º Reducir al máximo la erosión, causa de grandes pérdidas de fósforo. 2.º Restituir al suelo las mayores cantidades de fósforo en forma de residuos de cosechas y estiércol. 3.º Utilizar de la manera más eficaz los abonos fosfatados, eligiendo aquellos que en los diferentes tipos de suelos en que se hayan de utilizar no se fijen bajo formas no asimilables.

La simple lectura de todos estos datos deja bien patente la importancia del problema y con ello plenamente justificado el interés que el estudio de los problemas relativos al fósforo tienen en Agricultura y Ganadería; así lo entendieron también los asistentes a la Quinta Conferencia Internacional de Abonos Químicos celebrada en Zurich, del 4 al 8 de agosto de 1949, la cual, después de escuchar la interesante comunicación de M. Marquis *Le phosphore et la vie*, se expresa así: «Las Organizaciones de cada país deben llamar la atención del mundo científico, agrícola y médico sobre el papel fundamental del fósforo en los fenómenos de la vida vegetal, animal y humana.» Y quiere subrayar aún más este concepto cuando dice que el fósforo no es solamente un factor de rendimiento, sino también un factor de calidad.

## ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

Desde que en 1843 realizaron Lawes y Gilbert su primera experiencia sobre nabos, tratando de medir la influencia de los fosfatos sobre el rendimiento de las plantas, los trabajos se han repetido en todos los países del mundo, en unas para probar la acción sobre el rendimiento de las cosechas, otras fijando su atención en la composición química de las plantas o en alguno de sus componentes, y a veces para experimentar la influencia que la fertilización fosfatada ejercía sobre la composición botánica de los cultivos. Son numerosísimas también las investigaciones realizadas sobre los efectos residuales del abonado fosfatado, los ensayos comparativos entre los diferentes tipos de abonos y las experiencias sobre reacciones del abono en el suelo, localización seguida a la siembra, estado de división, profundidad apropiada, cantidad recuperada por las cosechas, y mil aspectos más de este problema.

Un valioso recurso en estas experiencias ha sido la utilización del isótopo radiactivo P32, si bien parece indicarse últimamente que este cuerpo ejerce alguna acción sobre el sistema radicular, lo cual le haría perder mucho valor; en este caso su absorción no sería todo lo fisiológica que fuera de desear para poder generalizar las conclusiones de todo tipo, que en experiencias con él realizadas se pudiese llegar.

Intentar dar siquiera una ligera reseña histórica de los trabajos en este campo realizados, es tarea poco menos que imposible, dada la magnitud de los mismos; pero llegar al final que nos proponemos en este trabajo, sin tener presente los más importantes, por la relación directa que con él tienen, también nos parece inoportuno. Las conclusiones a que los diversos autores han llegado no son, en muchos casos, análogas; existen, como tendremos oportunidad de comprobar, conclusiones dispares, e incluso algunas de ellas contradictorias.

Considerado el fósforo como elemento cuantitativo, en lo que a su importancia en la vida vegetal se refiere, es natural que las primeras experiencias que se realizaron tendieran a demostrar esta acción puramente cuantitativa del mismo; y así desde la primera experiencia de 1843 hasta el momento, muchas veces se dejó demostrado el incremento que en la producción provocaba la adición de abonos fosfatados.

Esta influencia sobre el rendimiento, además de ser la más importante históricamente, es también, en la que más coincidentes son los resultados, que permiten dejar sentada la efectividad del abonado en lo que a incremento de la producción se refiere.

Más interés tienen para nuestro estudio las modificaciones observadas en la composición química de los vegetales cultivados en condiciones naturales o provocadas, manteniendo un diferente nivel del fósforo en suelos utilizados.

F. W. Sherwood y colaboradores (50), en observaciones realizadas sobre parcelas con varias combinaciones de piedra caliza dolomítica y fosfato en polvo, comprobaron incrementos en la proporción de materia seca en varias plantas forrajeras por ellos cultivadas, aumentos que eran, además, acompañados de positivas correlaciones de los contenidos de nitrógeno. L. Schmitt y M. Schineis (46) señalan también aumentos del contenido de proteína en experiencias de campo con dosis crecientes de fosfórico, encontrando una correlación positiva entre la cantidad de  $P_2O_5$  y la producción de proteína. W. Schropp (48) con dos variedades de cebada observa incremento en el contenido en proteína en una variedad pobre en ella, especialmente si el riego es abundante; pero no nota influencia del abono fosfatado en su contenido en proteína en la variedad rica en ella. En otro trabajo posterior y sobre avena, vuelve a insistir en la escasísima influencia sobre este contenido. Para él, en el aumento jugaría un gran papel el riego, presentando el máximo enriquecimiento cuando éste es abundante al principio y moderado al final.

F. L. Alway y G. H. Nesom (2) hacen un amplio estudio en 61 campos de Minnesota, fertilizados unos y no fertilizados otros, mostrando un contenido del 0,16 por 100 para el nitrógeno, en general, de las parcelas abonadas sobre las no abonadas y un 1 por 100 para la proteína; y de acuerdo con ello dejan sentada que existe un aumento apreciable en el contenido proteico del heno de alfalfa en los campos abonados sobre los no abonados. C. F. Huffman (25) abunda en la misma idea y ha visto aumentar la cantidad de proteína del 14,7 por 100 al 16,7 por 100 por la adición a pastos de superfosfatos a razón de 500 kgs. por hectárea.

M. Holden y M. V. Tracey (24), en un interesante trabajo, estudian el efecto de los fertilizantes sobre los contenidos de nitrógeno, fósforo, proteína y pectasa en las hojas de tabaco; el fósforo aumenta el contenido de proteína, si bien el incremento de este nivel se consigue de forma más marcada cuando se suman los efectos de ni-

trógeno y fósforo en la fertilización. C. Krugel, C. Duyspring y F. Heinrich (26), estudiando en vasos de experimentación la acción del abonado fosfatado con cuatro variedades de soja, observan fuerte reacción hasta una dosis de 200 kgs. por hectárea, pero no hallan diferencia alguna en los contenidos de proteína y grasa.

No se encuentran informaciones sobre las posibles variaciones de hidrocarbonados bajo los efectos de la fertilización fosfatada. Van der Paawn (57) habla de un aumento en el contenido de fécula unido a una fuerte elevación del rendimiento, y C. Krugel, C. Freyspring, R. Lothammer y E. G. Doerell (27), que hicieron una vasta serie de experiencias en diversos campos de las principales regiones de Alemania, las patatas—que era el cultivo utilizado—experimentaban un gran aumento en la producción unido a un enriquecimiento en almidón.

Los contenidos de riboflavina y caroteno también parecen influenciados por el abonado fosfatado, llevando el contenido del primero de 22,03 a 25,69 mgs./gr. y el segundo de 186,4 a 222,6 (37). G. R. Noggle (33) en avena y vallico encontró cantidades positivamente proporcionales en los contenidos de vitamina C con relación a los porcentajes de fósforo del suelo.

Sobre los contenidos de fibra bruta son contradictorios los datos expresados por L. E. Hessler (23) en 1947 y los hallados por R. W. Swift y colaboradores (52) en 1948, mientras que para el primero existe un significativo aumento de este componente, el segundo no encuentra variaciones significativas con los cinco tratamientos por él utilizados en un período de cinco meses. M. Holden y M. V. Tracey (24) señalan el incremento de fibra bruta que sigue a las adiciones de fósforo en las experiencias por ellos realizadas, lo cual no coincide con los resultados obtenidos por «The United States Plant, Soil and Nutrition Laboratory», Ithaca (56), que encontró un contenido similar en los forrajes fertilizados que en los no fertilizados.

Si interesante era para nosotros el conocer las variaciones que la composición de los vegetales podía tener, cuando crecían sobre suelos con diferente contenido en fósforo, no es menos cierto que dentro de estos componentes teníamos que dar preferencia a los minerales y especialmente al fósforo, pues la orientación principal de este trabajo estaba encaminada a contribuir al esclarecimiento de los problemas que en la nutrición de los animales plantea el fósforo.

Podríamos preguntarnos si la presencia o el aporte de fosfatos en un suelo es capaz de hacer variar el contenido de este elemento

en las plantas que sustenta y en caso afirmativo en qué proporción las dosis crecientes de abonado fosfatado hacen variar este elemento en las cosechas. La respuesta dada por A. Demolón (13) es que una mayor absorción de este elemento no corresponde exactamente con un aumento de su porcentaje en las cosechas, y afirma, ya concretamente referido a cereales, la aplicación de abonos fosfatados no modifica el contenido del fósforo del grano; el grano es precisamente el que más fuerte resistencia presenta a estas variaciones. En estas ideas coincide también M. Sanfourche (44), y dice él que es en el ritmo de crecimiento y en el peso de la cosecha donde únicamente se manifiesta la penuria o abundancia de fósforo.

Sin embargo, en Noruega, en la gran deficiencia padecida durante la última guerra, se observaron contenidos de fósforo inferiores a 0,50 (13).

Cuando no se refiere a cereales y concretamente a granos, es el propio Demolón (12) quien admite un empobrecimiento del contenido en fósforo en raíces y tubérculos, y sobre todo en cultivos forrajeros, en los que él pudo comprobar descensos en ausencia de abonos fosfatados.

J. F. Fudje y Fraps dicen haber encontrado unas respuestas mucho más netas en rendimientos que en contenidos en  $P_2O_5$  por la aplicación de super, y que por otra parte a medida que se aumenta el aporte la acción positiva sobre el rendimiento disminuye, pero aumenta sobre el contenido. Sobre este punto son interesantes las conclusiones presentadas por E. C. Richardson (41), que coincide en la necesaria aplicación de fosfatos en los suelos carenciales para establecimiento de cosechas satisfactorias, y dice haber obtenido el máximo rendimiento en dosis oscilantes entre los 500 kgs. y los 1.000 kilogramos por hectárea de super, encontrando los valores positivos más altos en cuanto en contenido en fósforo en la tercera cosecha. Sobre alfalfa, y tratando los suelos con abonos nitrogenados y fosfatados, encontró resultados coincidentes con los anteriores, al decir que había obtenido los valores máximos de fósforo y nitrógeno en la tercera cosecha y los más débiles en la primera (21).

Resultados que confirman la positiva correlación entre el contenido de fósforo de los suelos—real o provocado—y la composición de las plantas que soportan en este elemento nos dan los trabajos de P. Brodskis (9), E. B. Reynolds y R. H. Wycke (40), M. E. Weeks y A. Walters (58), J. Garola (18), Ching-Zwei-Lee (11), L. Maume (31), A. L. Prince, S. J. Toht y F. E. Bear (39), L. H. Ro-

gers y Chihhwa Wo (42), K. C. Beeson y colaboradores (6), A. Hawkins (22), United States Plant, Soil and Nutrition Laboratory (56), M. Holden y M. V. Tracey (24), Tschumi y Stale (55), Pragnoul (38) y C. H. Parr y S. Sen (36).

También han sido medidas las variaciones que en otros constituyentes minerales de las cenizas de las plantas podría tener la fertilización fosfatada, especialmente el calcio y magnesio, cuerpos en íntima relación con el fósforo, en el desarrollo de sus funciones biológicas. Concretamente referidas a calcio, las conclusiones a que se han llegado no aclaran completamente el problema, los complicados fenómenos de fijación, cambio y absorción que el calcio realiza están sometidos a las diferentes condiciones de las especiales características de los suelos sobre los que se trabaja, y ésta será sin duda la explicación de este comportamiento contradictorio que se observa. E. C. Richardson (41) no encontró variaciones significativas en los contenidos de calcio en cultivos realizados durante tres años sobre suelos carenciales a los que añadía fosfatos, y K. C. Beeson y colaboradores (6) llegan a encontrar reducciones hasta de un 50 por 100 de calcio y hierro en las hojas de soja cuando son sometidas estas plantaciones a fuertes tratamientos de nitrógeno y fósforo. Contrariamente a este criterio, M. E. Weeks y A. Walters (58), J. Garola (18), y C. H. Parr y S. Sen (36) encuentran en el maíz, heno de alfalfa y leguminosas contenidos que corren paralelos, en sentido positivo, a las adiciones de fosfatos al suelo. La solución a este problema quizá la podamos hallar en los trabajos realizados por F. W. Sherwood, J. O. Halverson, W. W. Woodhouse y F. H. Smith (50), los cuales, en observaciones llevadas a cabo durante períodos de seis años, solamente en los cuatro últimos encontraron un aumento en el contenido de calcio de las plantas con fertilización fosfatada, pero no se registró este aumento en los dos primeros años de la experiencia.

Relativo al magnesio, nos dicen E. Truog, R. J. Goates y G. C. Gerloff (54), que sobre cultivos de maíz y guisantes, en suelos de aluvión y bajo la aplicación de fertilizantes conteniendo N,  $P_2O_5$  y K, encontraron incrementos del orden del 10 al 15 por 100 para los contenidos de magnesio y fósforo.

Teniendo en cuenta la enorme importancia que en fisiología vegetal y animal se concede en la actualidad a las funciones que cumplen los elementos minerales que en pequeñísimas cantidades se encuentran en los organismos vivos, se han realizado algunas ex-

periencias para vislumbrar la influencia posible de la fertilización sobre el nivel de estos pequeños componentes en la materia vegetal.

Concretamente referidos al abonado fosfatado y precisamente realizados sobre avena, tenemos los trabajos de Lewis H. Rogers y Chih-Hwa-Wo (42), que comprobaron en un experimento realizado en macetas, cómo con la aplicación de cantidades constantes de Zn el contenido de este elemento en los vegetales era mayor al añadir cantidades mínimas de fosfato. Con anterioridad, otro autor, C. R. Millikan (32) había constatado un aumento en los porcentajes de P y Zn cuando eran añadidas cantidades de super como fertilizante.

En estos casos, como en otros que han sido descritos para otros microfactores, pueden darse dos explicaciones de estas acciones; en primer lugar, es posible que la acción del fertilizante estimule o facilite la absorción de estos minerales, y, por otra parte, las pequeñas impurezas que los abonos llevan fueran las responsables de esta mayor absorción por parte de las plantas. Cosa cierta es, desde luego, que abonos como el superfosfato comercial contienen ordinariamente impurezas de distintos minerales, suficientes en cantidad para evitar la aparición de los trastornos debidos a falta de estos factores.

No es solamente el análisis químico de los vegetales quien nos demuestra los buenos efectos que sobre la composición química de los vegetales ejerce la fertilización del suelo, son los propios animales los que con un poder selectivo, guiados por su fino instinto, nos demuestran su preferencia por los vegetales que crecieron sobre suelos ricos en fósforo, frente a la misma clase de alimentos cultivados fuera de esas condiciones.

A la vista de estos datos, y conocida la penuria de alimentos que, cuantitativa y cualitativamente considerada, sufren nuestros animales domésticos, fácil es llegar a la conclusión del necesario aumento de la fertilidad de los suelos por el empleo de abonos, reemplazando así la constante exportación de elementos nutritivos que las cosechas realizan y asegurando una adecuada alimentación de nuestras especies domésticas. Ninguna otra solución, tales como la propugnada en algunas zonas del establecimiento racional de rotaciones, pueden solucionar el problema, pues ante el efecto limitante que en la producción vegetal ejerce la falta de uno de éstos en el suelo, no puede ser más levemente paliada por ese proceder, y solamente la aplicación sistemática y racional de abonos a los terrenos, la realización de análisis de suelos, así como el perfecto conocimiento de la forma de aplicación, localización, efectos tóxicos o residuales y referidos

a distintas zonas y cultivos, nos pueden dar la solución a este grave problema y asegurarnos así producciones que en su cantidad nos proporcionen los necesarios productos para alimentar nuestra ganadería y en calidad nos permitan componer raciones que conteniendo las óptimas proporciones, no sólo en materias minerales, sino también en proteínas y del total de sustancias digestibles, aseguren una correcta nutrición.

Conocida la falta de fósforo que padecen los suelos españoles, no pueden ser óptimas las condiciones en que se producen los forrajes en las zonas deficientes, y por la directa relación que guardan, tampoco lo será la cría de animales. Teniendo en cuenta la importancia extraordinaria que esta carencia tiene en la producción agrícola y ganadera, consideramos interesante realizar esta experiencia, en la que se trata de señalar la influencia que tiene la diferente riqueza del suelo en fósforo sobre la composición química de la avena, y todo ello actuando en condiciones de campo de nuestro país.

La demarcación de zonas deficientes, así como el conocimiento de la influencia que el abonado tiene sobre la composición química de las plantas, son cuestiones previas del todo necesarias, siempre que en forma adecuada se quiera evitar o eliminar las lateraciones y enfermedades debidas a la carencia fosfórica en la alimentación de los animales domésticos.

## PARTE EXPERIMENTAL

### DISPOSICION DE LAS EXPERIENCIAS EN EL CAMPO

La primera parte de esta experiencia consistió en el cultivo de una planta forrajera, que iba a ser utilizada para medir el efecto que sobre la composición química de la misma tenía la composición química del suelo y en especial el contenido de fósforo.

El cultivo se realizó en el jardín de la Facultad de Veterinaria utilizando una extensión igual a 102 m.<sup>2</sup>, y una vez realizadas las necesarias labores preparatorias fué dividido en 25 parcelas de 2,10 m. por 1,85 m., lo cual hacía 3,885 m.<sup>2</sup> de superficie por cada parcela, completando el total de la superficie las acequias de riegos, caminos, etcétera.

El terreno que utilizamos había soportado en un período de cuatro años, inmediatamente anteriores a la experiencia; un cultivo de



sorgo forrajero, y en los anteriores, y por un período no menor a seis, había sido dedicado al cultivo de alfalfa. Estos cultivos incluían a la totalidad del terreno por nosotros utilizado.

Durante el período de diez años a que nos hemos referido, el campo no había recibido otro fertilizante que pequeñas cantidades de estiércol de cuadra, sin que le fuera añadida cantidad alguna de fertilizantes minerales.

Una vez realizadas las labores previas y la división en parcelas, se numeraron éstas, a fin de poder llevar con mayor facilidad el con-

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

FIG. 1.

trol de todas las labores y demás manipulaciones a realizar sobre ellas, y para ello, tomando como cabecera uno de los lados, el lindante al camino central del jardín, y siguiendo de izquierda a derecha, se numeraron las parcelas correlativamente del 1 al 25, según la disposición que puede verificarse en la figura 1.

Esta disposición en parcelas fué hecha buscando el poder reali-

zar la necesaria repetición de los tratamientos que hiciera posible la aplicación del cálculo estadístico.

La aplicación del cálculo estadístico se apoya en dos hechos fundamentales: en primer lugar, en la repetición de los tratamientos, aplicados en un número determinado de parcelas, y por otra parte en la distribución de azar que de los mismos se hace dentro del cuadrado.

Al conocer las diferencias de producción entre las parcelas sometidas al mismo tratamiento nos proporcionan la medida del error experimental cometido y la distribución al azar nos pone en condiciones de realizar la estimación de este error estadísticamente.

Esto permite comparar los efectos de los distintos tratamientos con el error experimental, de tal modo que puede determinarse la probabilidad de que los efectos obtenidos sean el resultado de los tratamientos aplicados y no de azar. De este modo cada experimento nos da la medida de su propia exactitud y con ello la estimación que nos merecen los resultados obtenidos en la experiencia.

Por otra parte, la disposición de azar que se da a los tratamientos permite eliminar algunas otras causas de error y aumentar con ello la exactitud de la experiencia, especialmente en lo que se relaciona con heterogeneidad del suelo, influencia de los bordes, etc.

Con el tratamiento estadístico conseguimos esencialmente analizar la variación que corresponde a los distintos tratamientos y la que pertenece al azar y comparárlas.

Aunque es grande la importancia que el cálculo estadístico tiene en Agricultura y en general en la resolución de todos los problemas experimentales que se plantean en Biología, no debe desorbitarse esta función, pues en realidad la estadística no es un feliz instrumento más que cuando es manejado adecuadamente.

Entre las diferentes disposiciones que puede hacerse para la aplicación de los métodos estadísticos, hemos elegido el método de los cuadrados latinos, pues es considerado como ideal cuando el número de tratamientos o variedades oscila de 4 a 10.

En el cuadrado latino las parcelas se disponen en forma semejante a los cuadrados de un tablero de ajedrez, con la única limitación de que cada tratamiento de los que se someten a comparación entre una sola vez en cada fila y en cada columna, lo cual permite compensar el efecto debido a desigualdades del terreno en dos direcciones.

La colocación de los tratamientos se verifica al azar, o también

utilizando series de distribución ya establecidas. Nosotros hemos elegido la disposición en cuadro latino para cinco tratamientos, propuesta por Fisher y Yates (14), y que responde a la figura 2.

### Disposición de los tratamientos

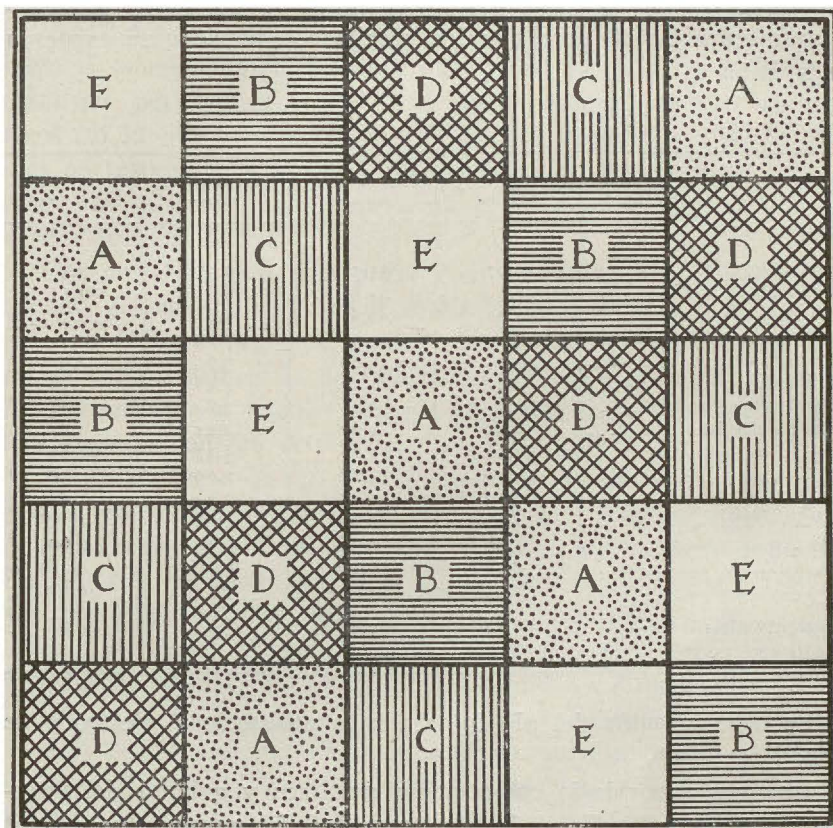


FIG. 2.

Los criterios seguidos para el establecimiento del tamaño de las parcelas han sido diversos; frente a los que prefieren utilizar parcelas de gran tamaño, se inclinan otros por utilizar las de pequeño tamaño, fundando su aserto en el hecho de que en las de gran tamaño son más difícilmente realizadas las manipulaciones y con menor precisión, y por otra parte, al aumentar excesivamente la extensión

del terreno utilizado, la presentación de errores debidos a la heterogeneidad del mismo, aumentan también.

Wishart (59) habla de autores que obtuvieron buenos resultados en parcelas de 1 m.<sup>2</sup> La forma adoptada para ellas, sensiblemente cuadrada, es la más aconsejable.

Una vez preparado el terreno y hecha la distribución en la forma explicada, se realizó el análisis del suelo tomando varias muestras al azar entre las 25 parcelas; los resultados obtenidos se expresan en la Tabla I.

TABLA I

	Parcela n.º 5 por 100	Parcela n.º 23 por 100	Parcela n.º 14 por 100	Parcela n.º 4 por 100
Arena gruesa.....	42,07	35,7	42	37,3
Arena fina.....	18,1	23,5	18	19,1
Limo.....	11,6	12,8	0,5	4,5
Arcilla.....	17,1	19,3	17,80	24,3
Carbonatos.....	3,6	5,09	3,6	4,9
Humedad.....	2,47	1,34	1,46	1,58
Pérdida por solución.....	3,6	3,4	2,8	1,4
Materia orgánica.....	3,92	1,87	2,44	3,87
SiO <sub>2</sub> .....	64,22	63,28	65,43	64,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	14,59	14,47	12,60	10,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2,19	2,92	2,4	1,83
CaO.....	4,78	6,66	9,98	4,15
MgO.....	1,99	0,78	0,86	1,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,586	0,532	0,502	0,586
pH.....	7,04	7,06	7,12	6,62
Relación molecular $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ .....	7,48	7,43	8,82	10,08

La determinación del pH fué realizada utilizando el electrodo de hidrógeno.

Una vez conocida la composición mecánica y química del terreno, la cual nos confirmó la homogeneidad del mismo, procedimos a la adición del abono.

Como fertilizante enriquecedor del suelo en fósforo, utilizamos superfosfato comercial del 16 por 100, por ser el tipo de abono que tiene una influencia más ostensible y rápida sobre los cultivos, gracias a su mayor solubilidad y fácil aprovechamiento por los vegetales. Las cantidades añadidas a las parcelas fueron las correspondientes a 0, 125, 250, 500 y 1.000 kgs./hectárea, de esta manera conseguimos desde una ausencia de fertilización a cantidades excesivas de abonado.

Intencionadamente hemos elegido el cultivo en parcelas, despreciando otros: cultivo en macetas, medios líquidos, etc., que si bien resultan más cómodos y menos engorrosos y hasta se consiguen unos resultados más fácilmente controlables, presentan, no obstante, una gran desventaja frente al cultivo en el campo, que se presta a una más fácil formulación de los resultados prácticos que con ella se obtienen.

En la distribución señalada en la figura, el tratamiento *A* representa la adición de superfosfato a razón de 125 kgs./ hectárea (48,5 grs. por parcela); la *B* lo es del tratamiento de 250 kgs./hectárea (97,12 grs. por parcela); la *C*, 500 kgs./hectárea (194,25 gramos por parcela); la *D*, de 1.000 kgs./hectárea (388,50 grs. por parcela) y, finalmente, la *E* representa la variable testigo sin adición alguna de fertilizante.

Con arreglo a esta disposición y en las cantidades señaladas, fué añadido el super a las parcelas el día 25 de marzo de 1949, adición que fué realizada a mano con el máximo cuidado, procurando la mayor regularidad en la distribución, que en las primeras variantes fué asegurada esta regular repartición aumentando su volumen con una pequeña cantidad de tierra.

Inmediatamente quedó enterrado por medio de una labor superficial a una profundidad de 5-7 cm., que se consideró óptima para este tipo de suelo y de acuerdo con el cultivo que había de soportar. En los días siguientes cayeron algunas lluvias, que aseguraron la más rápida y fácil distribución del abono.

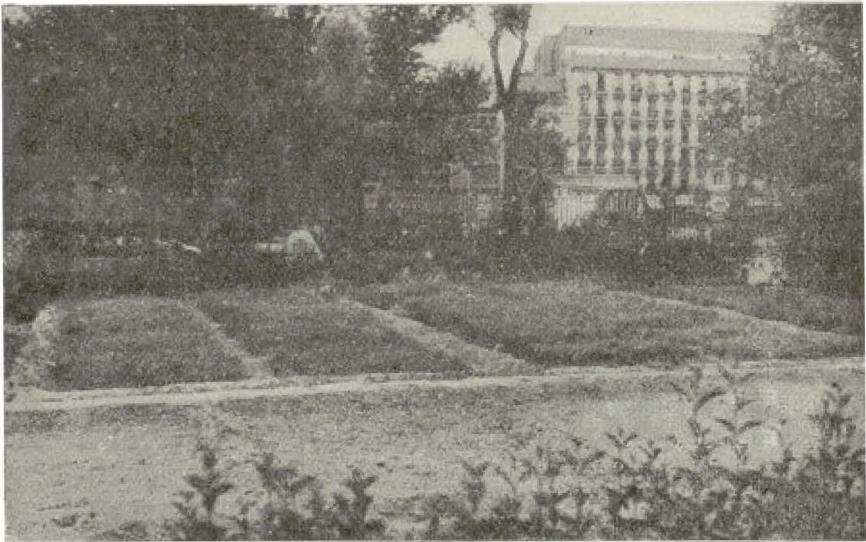
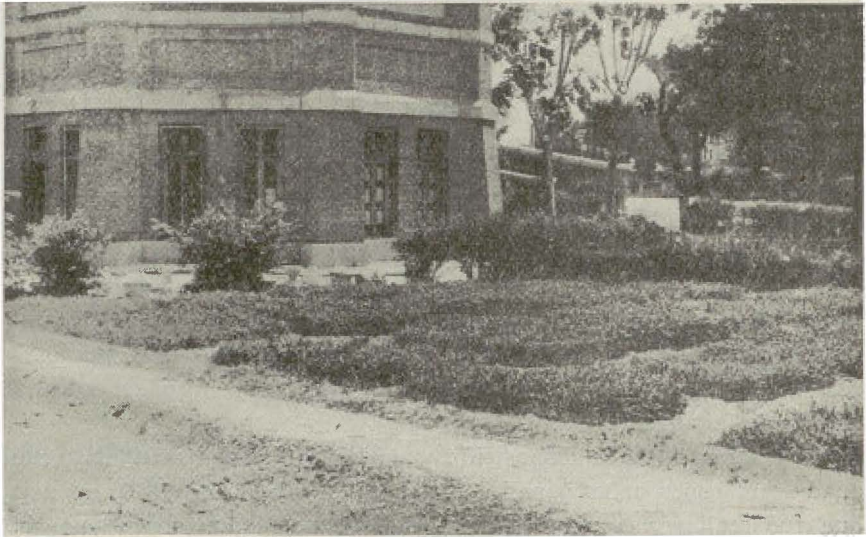
Era necesario, además, elegir la especie forrajera que resultara más apropiada al estudio que se quería realizar. Consultadas las diferentes especies nos decidimos por la avena de primavera.

Este cereal presenta una característica muy interesante, cual es la de realizar una absorción muy regular del fósforo en todo su ciclo evolutivo; aparte de esto, en opinión de Mitscherlich es «uno de los mejores indicadores para nuestro objeto», dice al hablar de los cultivos más apropiados en el estudio de comparación de abonos por su método.

La siembra fué realizada el día 6 de abril, a razón de 270 kgs. por hectárea (94,89 grs. por parcela), a mano y con el mayor cuidado.

El día 15 de abril, es decir, a los nueve días de realizada la siembra, empezaron a aparecer las primeras plantitas con la mayor regularidad, conservando durante todo su ciclo un desarrollo normal, si bien pronto se notó una marcada diferencia entre el desarrollo de





Estado del crecimiento de la avena en las distintas parcelas, al mes de su nacimiento.

la avena en las parcelas, como puede verificarse en las fotografías, tomadas al mes de su nacimiento.

El día 25 de mayo, y con el fin de asegurar la vegetación, fueron regadas a mano, agregando a cada una de ellas agua a razón de dos litros por metro cuadrado.

El día 1 de junio, empezando a iniciarse la floración, momento óptimo para la siega, se realizó ésta, recogiendo las muestras para el análisis químico.

#### ANÁLISIS QUÍMICO

Las muestras fueron tomadas en diversos puntos de cada una de las parcelas para procurar siempre la máxima homogeneidad; la siega se verificó cuidadosamente con unas tijeras especiales, perfectamente limpias y habiéndose lavado escrupulosamente las manos el operador. El corte se realizó a unos tres centímetros del suelo, procurando no manchar con tierra el forraje.

Inmediatamente las muestras fueron colocadas en frascos de cierre hermético y llevadas al laboratorio para evitar así pérdidas por evaporación y protegerlas de posibles cambios químicos. Los frascos habían sido lavados escrupulosamente.

Al mismo tiempo, y extremando las precauciones, fueron tomadas las muestras sobre las que se había de realizar el análisis de microfactores. Para la siega de estas muestras no se utilizó utensilio metálico alguno y una vez recogidas fueron cuidadosamente lavadas con agua bidestilada utilizando un frasco lavador de chorro muy fino y colocadas, una vez estabilizadas, en frascos que habían sido minuciosamente lavados de la manera siguiente: lavado con mezcla crómica, a continuación por agua destilada, seguidamente ácido sulfúrico diluido y un nuevo lavado final con agua destilada.

El estabilizado de las plantas fué realizado de la siguiente manera:

Primeramente se sometieron durante cinco minutos a una corriente de aire caliente, procurando no elevar la temperatura por encima de los 100°. Luego a 70° un cuarto de hora y posteriormente fueron llevadas a la estufa donde se desecó durante varias horas, no excediendo de 60-70°. Las muestras así estabilizadas fueron molidas con una maquinilla de picar carne, excepto las destinadas a determinación de microfactores, y conservadas en frascos con cierre hermético.

Se verificaron determinaciones de sustancia seca, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra bruta, extractivos no nitrogenados, calcio, fósforo y magnesio, y con las muestras obtenidas al efecto también hierro y manganeso entre los microfactores.

#### *Sustancia seca*

El contenido de sustancias secas se determinó desecando primeramente a 60-70° y pesada, y a continuación desecando a la estufa a 103-105°, hasta peso constante. Esta determinación fué realizada inmediatamente de verificada la siega del forraje.

#### *Cenizas*

Las muestras, una vez desecadas, se sometieron a incineración en cápsula de platino, hasta la total combustión del carbono y prolongando la calcinación lo suficiente para obtener peso constante. A veces se facilitó la combustión agregando unas gotas de agua oxigenada.

#### *Proteína bruta*

Para la determinación de proteína total fué utilizado el procedimiento de Kjendalh modificado por Gunning-Aterberg. El análisis fué realizado sobre una muestra de un gramo, utilizandō Hg como catalizador y sulfuro sódico para su eliminación.

El líquido de destilación era recogido en un matraz conteniendo ácido sulfúrico N/14 al que se había añadido rojo Congo como indicador. Finalmente la valoración del ácido libre se realizó utilizando NaOH N/14.

Para la transformación del nitrógeno total, que es el valor que se obtiene en proteína, se hizo uso del factor 6,25.

#### *Fibra bruta*

La determinación de este componente fué realizada por el método de Weander, siguiendo la técnica descrita por Galvez (17). Digestión sucesiva de la muestra por ácido sulfúrico y sosa, ambos al 1,25 por 100 en ebullición durante media hora, filtración y desecación del residuo y calcinación hasta peso constante.

#### *Extracto etéreo*

Esta determinación fué realizada utilizando el aparato Soxhlet, y como líquido extractor éter anhidro, el extracto fué desecado en la estufa a 95° durante una hora.



*Materias extractivas libres de nitrógeno*

Estas fueron determinadas por diferencia al deducir de la materia seca los valores de las determinaciones precedentes.

*Fósforo*

La determinación del fósforo se realizó por el método colorimétrico Zinzadze, modificado por Burriel y Hernando (10) que se funda en la formación del heteropolíácido azul de molibdeno.

*Calcio*

El análisis de este componente se realizó por permanganometría, verificando la extracción de cenizas por el procedimiento de Klee-mann.

El líquido así obtenido se acidula en exceso con ácido acético concentrado y en esta solución se precipita el calcio al estado de oxalato amónico.

Una vez separado y lavado el precipitado, se disuelve en ácido sulfúrico diluido, el cual se valora a continuación con permanganato potásico N/10.

*Magnesio*

A partir de las aguas del filtrado después de la precipitación del calcio en forma de oxalato de cal, se determina el magnesio, por precipitación en forma de fosfato amónico magnésico y calcinación del precipitado a pirofosfato de magnesio, en horno eléctrico, a 1.000°.

*Hierro y manganeso*

Las determinaciones de estos dos microfactores en el forraje, fueron realizadas por análisis espectrográfico, sobre las muestras preparadas al efecto.

Los valores obtenidos en las determinaciones precedentes se expresan en la Tabla II, en tantos por ciento y a continuación una representación gráfica de los mismos nos muestra comparativamente estos resultados (figs. 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>).

Los valores obtenidos para el hierro y manganeso, fueron despreciados por carecer en absoluto de significación.

También fueron calculadas las relaciones  $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$  y  $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$  con los va-

T A B L A I I

TRATAMIENTOS	Parcela	Sustancia seca por 100	Cenizas totales por 100	Proteína por 100	Fibra bruta por 100	Extr. etéreo por 100	Mater. ex- tract. libre de N por 100	MINERALES		
								P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO
								por 100	por 100	por 100
Sin abono.....	1	15,77	1,88	2,33	4,39	1,14	6,03	0,997	0,730	0,12
	8	16,29	2,44	2,12	4,05	1,21	6,47	0,880	0,680	0,16
	12	15,16	2,57	1,66	3,68	1,05	6,30	0,906	0,650	0,20
	20	15,50	2,12	2,29	3,81	0,99	6,29	0,900	0,650	0,18
	24	15,96	2,40	1,84	3,83	0,97	6,92	0,808	0,710	0,12
125 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	5	17,54	2,80	1,96	4,67	1,20	6,91	0,886	0,680	0,22
	6	16,23	2,54	2,15	4,09	1,02	6,43	0,966	0,750	0,21
	13	16,79	2,07	2,44	4,31	1,01	6,96	0,940	0,650	0,24
	19	17,20	2,69	2,13	4,82	1,02	6,44	0,886	0,650	0,23
	22	16,60	2,45	1,88	4,71	0,85	6,71	0,893	0,710	0,20
250 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	2	17,40	2,91	2,89	4,68	1,18	5,74	0,920	0,640	0,25
	9	16,96	2,71	1,89	4,52	1,18	6,66	0,953	0,660	0,27
	11	16,97	2,81	1,91	4,96	1,20	6,09	0,913	0,730	0,24
	18	17,82	2,79	2,27	4,67	1,23	6,86	1,006	0,730	0,27
	25	18,00	2,65	2,59	4,96	1,22	6,58	0,980	0,810	0,24
500 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	4	20,00	3,07	2,35	5,41	1,26	7,91	1,027	0,920	0,33
	7	20,85	2,95	2,17	5,37	1,45	8,91	1,010	0,630	0,34
	15	18,76	3,07	2,13	5,48	1,23	6,85	1,053	0,770	0,29
	16	19,00	2,99	2,13	5,11	1,20	7,57	0,953	0,650	0,32
	23	19,30	3,00	2,87	5,43	1,13	8,87	1,060	0,780	0,35
1000 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	3	20,42	3,26	2,67	5,41	1,24	7,84	1,094	0,770	0,38
	10	20,01	3,00	2,42	5,90	1,34	7,35	1,053	0,690	0,42
	14	19,00	3,13	2,50	5,13	1,45	6,79	1,050	0,700	0,42
	17	19,62	3,13	2,29	5,78	1,53	6,89	1,046	0,670	0,45
	21	21,00	3,20	2,35	5,57	1,39	8,49	1,002	0,710	0,40

lores obtenidos para ver la posible repercusión que el abonado pudiera ejercer sobre ellas, cuestión ésta de principalísimo interés, si

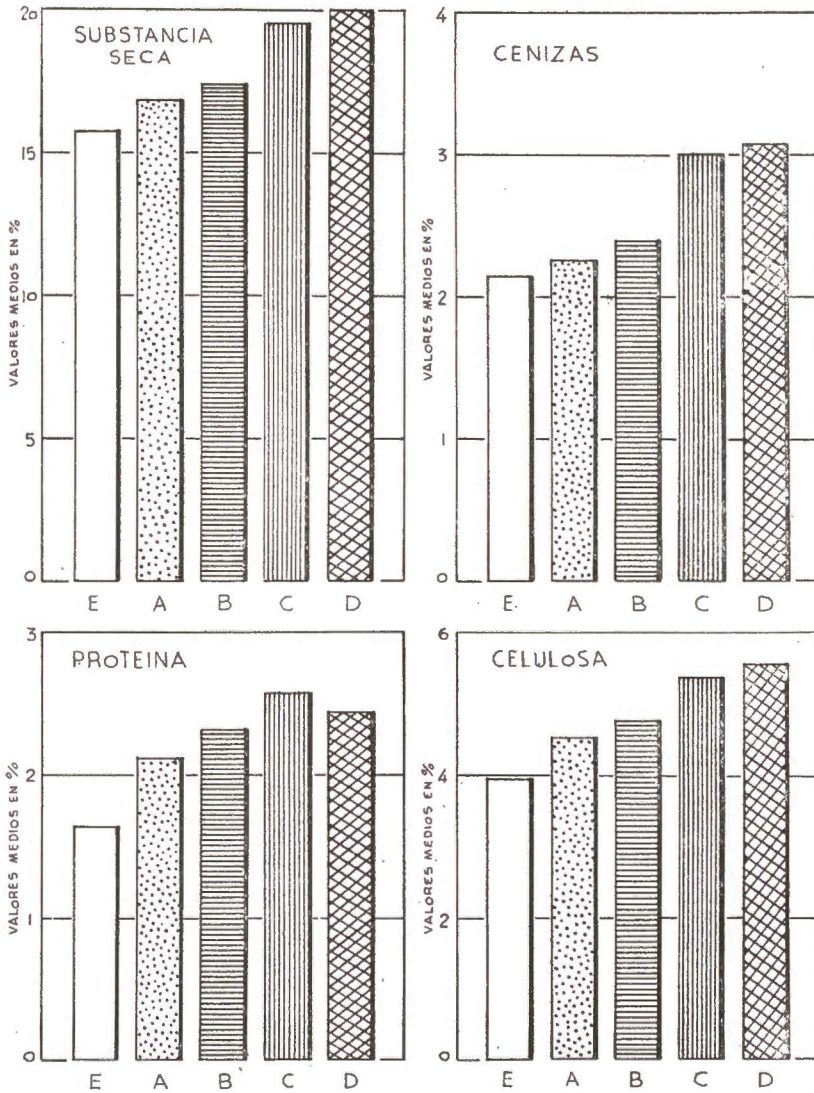


Fig. 3.

se tiene en cuenta que una importancia no menor que le ejerce: por la cantidad absoluta del calcio y fósforo en la dieta, es la que tiene la proporción relativa de estos elementos en la alimentación.

Los autores australianos, ingleses y americanos, especialmente los seguidores de Theiler dan a estas relaciones una destacada importancia.

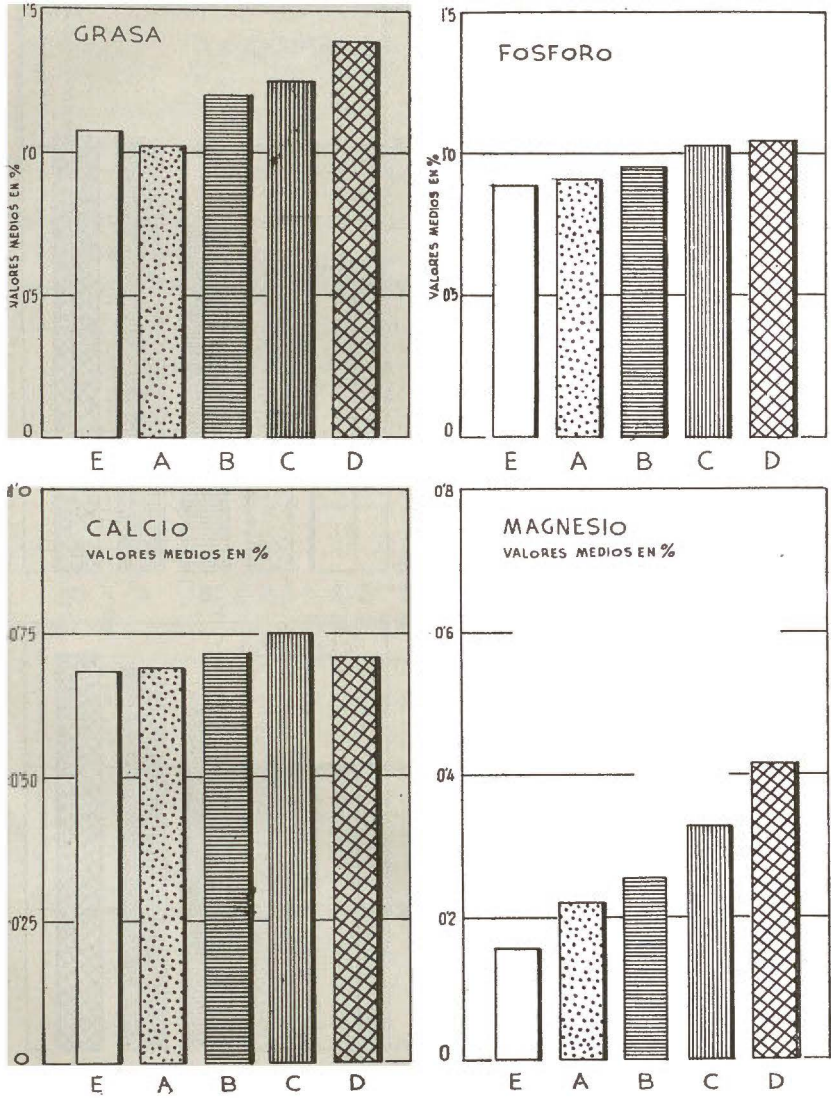


FIG. 4.

Por el contrario, la escuela alemana cree encontrar una mayor significación en la expresión bautizada por Ibele como alcalinidad-alcalinotérrica.

El valor de esta relación se determina al deducir de la suma del CaO + MgO el valor del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, expresados en miliequivalentes gramo por kilo de sustancia seca. Presenta esta relación una ventaja al incluir al magnesio, elemento con un metabolismo intimamente ligado al del calcio y fósforo.

Aplicando la fórmula práctica dada por Urbanek, se determinaron los valores de la alcalinidad-alcalinotérrea para el forraje sometido a esta experiencia de fertilización; los resultados obtenidos quedan consignados en la Tabla III.

TABLA III

	Parcela	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Alcali- cencia
Sin abono.....	1	0,990	0,73	0,12	- 6
	8	0,880	0,68	0,16	- 8
	12	0,906	0,65	0,20	- 6
	20	0,900	0,65	0,18	- 7
	24	0,803	0,71	0,12	- 3,5
125 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	5	0,886	0,68	0,22	- 2,2
	6	0,966	0,75	0,21	- 3,6
	13	0,940	0,65	0,24	- 4,7
	19	0,886	0,65	0,23	- 4,44
	22	0,893	0,71	0,20	- 3,2
250 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	2	0,920	0,64	0,25	- 5,00
	9	0,953	0,66	0,27	- 3,40
	11	0,913	0,73	0,24	- 0,86
	18	1,006	0,73	0,27	- 3,00
	25	0,980	0,81	0,24	- 1
500 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	4	1,027	0,92	0,33	5,2
	7	1,010	0,63	0,34	- 3,5
	15	1,053	0,77	0,29	- 2,8
	16	0,953	0,65	0,32	- 1,4
	23	1,060	0,78	0,35	0
1000 Kg/Ha Super de 16 por 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	3	1,094	0,77	0,38	- 0,20
	10	1,053	0,69	0,42	+ 0,6
	14	1,050	0,70	0,42	+ 0,93
	17	1,046	0,67	0,45	+ 1,73
	21	1,002	0,71	0,40	- 0,33

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

*Sustancia seca*

Realizada la prueba en un cuadrado latino de  $5 \times 5$  parcelas, con arreglo a los tratamientos E, A, B, C y D, según la distribución aleatoria señalada en la figura 2.<sup>a</sup>, se obtuvieron los resultados en tantos por ciento en la Tab'a II y que clasificados por filas y tratamientos nos dan el cuadro siguiente:

Sustancia seca. Medida general por parcela: 17,926.

Filas	TRATAMIENTOS					Total
	A	B	C	D	E	
1. <sup>a</sup>	17,54	17,40	20,00	20,42	15,77	91,13
2. <sup>a</sup>	16,23	16,96	20,85	20,01	16,29	90,34
3. <sup>a</sup>	16,79	16,97	18,76	19,00	15,16	86,68
4. <sup>a</sup>	17,20	17,82	19,00	19,62	15,50	89,14
5. <sup>a</sup>	16,60	18,00	19,30	21,00	15,96	90,86
Total....	84,36	87,15	97,91	100,05	78,68	448,15

Se obtuvo un cuadro análogo para las columnas, deduciéndose luego el valor de la media general por parcela, que fué de 17,926

Halladas asimismo las desviaciones o diferencias de las medias de cada fila, de cada columna y de cada tratamiento, respecto a la media general y los cuadrados de aquellas, se obtuvo el siguiente cuadro:

Filas	Desviación de la media de la fila respecto a la general	Cuadrados de esas desviaciones	Columnas	Desviación de la media de la columna respecto a la general	Cuadrados de esas desviaciones	Tratamientos	Desviación de la media del tratamiento respecto a la general	Cuadrados de esas desviaciones
1. <sup>a</sup>	-0,300	0,0000	1. <sup>a</sup>	0,132	0,0174	A	1,054	1,1109
2. <sup>a</sup>	-0,142	0,0202	2. <sup>a</sup>	0,000	0,0000	B	0,496	0,2418
3. <sup>a</sup>	0,590	0,3481	3. <sup>a</sup>	-0,198	0,0392	C	-1,656	2,7423
4. <sup>a</sup>	0,098	0,0096	4. <sup>a</sup>	0,102	0,0104	D	-2,084	4,3431
5. <sup>a</sup>	-0,246	0,0605	5. <sup>a</sup>	-0,036	0,0013	E	2,190	4,7961
Total..	—	0,5284	Total	—	0,0683	Total.	—	13,0854

Finalmente, tomando nuevamente los porcentajes de sustancia seca de las 25 parcelas, sin sujeción a filas ni columnas, hallamos la desviación respecto a la medida general y después los cuadrados de estas veinticinco desviaciones, que sumadas nos dan un valor igual a:

$$\varepsilon d^2 = 76,0644$$

Los valores de cada una de las parcelas, considerada aisladamente, difieren de la media general y esta desviación puede venir provocada por dos grupos de causas. Puede ser debida, en primer lugar, a efecto de los tratamientos que se experimentan, o, por el contrario, ser resultado de un grupo de causas, cuyo efecto conjunto viene designado por error experimental.

Pero en el caso particular del cuadrado latino, existe un mayor desdoblamiento de las causas de la desviación; una variación de los contenidos de cualquiera de los elementos determinados puede ser debida efectivamente a la acción de los tratamientos, pero puede ser también motivada por su colocación dentro del cuadrado, es decir, puede ser atribuible al hecho de estar en una determinada columna, entre las sometidas al mismo tratamiento. El mismo razonamiento podría ser aplicado a las filas. Es decir, que podemos considerar cuatro factores como los responsables de la diferencia producida: uno debido a su colocación dentro de una fila determinada, o bien dentro de una columna; por recibir un determinado tratamiento y finalmente la desviación debida al error experimental.

Podremos, por tanto, considerar la diferencia entre el valor de cada parcela y el valor medio por parcela, como una variable  $x$ , cuya media es 0 y cuyos términos son sumas de los respectivos de otras cuatro variables, que corresponden a filas, columnas, tratamientos y error experimental. El valor de la varianza total podrá, pues, ser descompuesto en una suma de varianzas debidas a filas, columnas, tratamientos y errores; es decir

$$\sigma^2 = \sigma_f'^2 + \sigma_c'^2 + \sigma_t'^2 + \sigma_e'^2 \quad (1)$$

Por medio de los datos contenidos en los cuadros anteriores podremos llegar a la determinación de los valores de las varianzas de los valores totales de las parcelas, la varianza debida a filas, columnas y tratamientos. Obtenidas éstas, y por la relación que entre ellas existe en la fórmula (1) podremos determinar ya la varianza debida al error experimental.



Para el cuadrado latino y con los valores de sustancia seca que estamos analizando, podríamos formar el esquema siguiente:

	Grados de libertad	Sumas de cuadrados desviaciones ( $\sigma^2$ )	Varianzas	$\frac{1}{2} L \frac{\sigma_t^2}{\sigma_e^2}$
Filas.....	4	2,6420	0,66036	—
Columnas.....	4	0,3415	0,08536	—
Tratamientos.....	4	65,427	16,3565	1,3976
Error experimental.....	12	5,6539	0,46115	0,3758
Total.....	24	74,0644	—	—

Una vez conocidas las varianzas de los cuatro factores que determinan la varianza general, puede observarse en primer lugar si la varianza debida a los tratamientos es significativamente distinta que la debida al error experimental, como ocurre en nuestro caso, lo que equivale a comprobar que existe correlación intraclase debida exclusivamente a los tratamientos.

Para comprobar aún más la significación, dado que la variabilidad debida a los tratamintos y la que se atribuye al error experimental, pueden ser consideradas como distribuciones normales, se hace uso de la prueba de razón de varianzas, llamada «z» y debida a Fisher; para la comparación de dos varianzas obtenidas a partir de distintos grados de libertad. La fórmula dada por este autor para hallar el valor de «z» es:

$$z = \frac{1}{2} L \frac{\sigma_t^2}{\sigma_e^2}$$

Aplicada esta fórmula a los valores de sustancia seca, obtuvimos, mediante cálculo logarítmico, el valor de

$$z = 1,7734$$

En las tablas correspondientes, para este valor de «z» hay una probabilidad inferior a 0,001, o sea, 1 por 1.000, de que la diferencia de varianzas sea debida al azar, por lo que dicha diferencia es *muy significativa*.

Cuando la prueba «z» resulta significativa nos demuestra que la diferencia observada en los valores comparados, porcentajes de sus-



tancia seca en este caso, no es debida simplemente al azar, sino que es resultado de los tratamientos aplicados. Si dentro de estos tratamientos se quiere conocer en qué momento empieza a existir una marcada significación, pueden compararse los resultados de los tratamientos con el testigo y para ello disponemos de una nueva prueba, la «t» de Student, que viene dada por la fórmula

$$t = \frac{|M - M'|}{\sigma_p \times \sqrt{2/5}}$$

En ella M y M' son las medias aritméticas de los contenidos de las parcelas que hayan recibido los tratamientos comparados y  $\sigma_p$  es la estimación del error típico por parcela.

Aplicada la fórmula a los valores de sustancia seca en los cinco tratamientos aplicados y utilizando como módulo de comparación el tratamiento testigo E, obtuvimos para la «t» los valores siguientes:

Tratamientos comparados ...	A — E	B — E	C — E	D — E
Valores de «t» .....	2,62	3,91	8,88	9,87
Probabilidad de obtener valores superiores .....	3 1/2 0/0	1 0/0	1 0/0	1 0/0

Tomando como nivel de significación 1 por 100, la comparación de los tratamientos A — E es poco significativa; a partir de la segunda comparación se inicia ya una significación, que en los dos últimos valores de «t» es francamente significativa.

*Cenizas*

Análogos cálculos se realizaron con los resultados obtenidos en las 25 parcelas, para la aplicación del método estadístico de muestras. La media general fué en porcentaje de 2,7452.

La razón de varianzas dió el valor de 1,2666, al cual corresponde una probabilidad también inferior al 1 por 1.000 y, análogamente que en sustancia seca, la diferencia de varianzas es muy significativa.

En cuanto a la comparación, dos a dos, de los tratamientos, el A con respecto al E, «testigo», no da significación alguna, empezando ésta a partir del tratamiento B.

*Fibra bruta*

La media general por parcela, expresada como en los factores anteriores en tanto por ciento, fué para esta sustancia de 4,8296.

El valor «z» obtenido mediante el correspondiente cálculo fué de 1,6607, valor al que en las tablas corresponde una probabilidad inferior al 1 por 1.000, de ser de azar la diferencia de varianzas. Esta diferencia es, pues, muy significativa.

En la comparación de cada tratamiento con el E, mediante la prueba «t» hay algo de significación a partir del primer tratamiento A, hasta llegar a ser intensa en los C y D.

#### *Proteína.*

En este factor se obtuvieron los resultados siguientes: Media general por parcela, en tanto por ciento, 2,1772. Valor de «z» = 0,928 y valores de «t» entre 2,6 y 4,47.

A dicho valor «z» le corresponde una probabilidad de 0,01, o sea de 1 por 100, que aunque indica *significación* en la diferencia de valores de las varianzas de tratamientos y errores experimentales, es menos acusada que en los anteriores factores estudiados.

Respecto a la comparación parcial de los tratamientos, solamente en los últimos hay algo de significación.

#### *Extracto etéreo*

La media general por parcela fué aquí de 1,1876; obteniéndose un valor para «z» de 1,0515, lo cual equivale, traducido a la probabilidad, a un 3 por 1.000 de ser de azar la diferencia resultante entre las varianzas, que da *bastante significación* a dicha diferencia.

En la comparación separada del tratamiento E con cada uno de los restantes no hay resultados significativos hasta llegar al último tratamiento D.

#### *Fósforo*

Para una media por parcela de 1,09084 se obtuvo un valor de «z» de 1,2324, lo que equivale a una probabilidad del 1 por 1.000 de ser de azar la diferencia de varianzas, y, por tanto, hay bastante significación.

En la comparación de cada tratamiento con E, por la prueba de «t» de Student, desde el tratamiento A hay ya significación; para ser más acusada en el B e intensa en los C y D.

#### *Calcio*

La media general por parcela fué de 0,7088 y la «z» da un valor inferior a 0, lo que indica carencia absoluta de significación en las

diferencias obtenidas en las variantes debidas a tratamientos y errores experimentales.

Tampoco existe la más mínima significación al estudiar comparativamente cada tratamiento con el «testigo» E.

### *Magnesio*

La media general por parcela fué en este elemento de 0,274, habiéndose obtenido asimismo para valor de la «z» de Fisher 2,5525, valor que equivale a obtener una probabilidad inferior a 0,001 de la que la diferencia de varianzas sea debida al azar, por lo que se deduce existe mucha significación.

En cuanto a la comparación con el tratamiento E de los restantes, da en todos ellos una probabilidad muy pequeña, lo que quiere decir una gran significación.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Aparte del incremento positivo que la cosecha sufrió al aumentar las dosis de fertilizante, conclusión que coincide con el criterio unánime de los diferentes autores, vamos a considerar los resultados obtenidos por análisis químico y cuya significación estadísticamente acabamos de medir.

La sustancia seca muestra un incremento significativo muy marcado; es lógico que así sea, pues en ella se refleja la suma de todos los componentes, a excepción del agua, y por ello su significación es mayor. Estos resultados marchan completamente de acuerdo con los señalados por Sherwood y colaboradores (50).

Las cenizas sufren análogamente un incremento en su porcentaje. La comparación de tratamientos entre sí da muy poca significación cuando se comparan los tratamientos E y A, e igualmente es notado en la sustancia seca. La explicación de estos hechos se puede encontrar si tenemos en cuenta que la riqueza en fósforo del suelo sobre el que trabajamos, aun antes de adición alguna de fertilizante, sin ser excesivamente alta; no se trata tampoco de un suelo muy pobre, y por este motivo los cultivos sobre las parcelas testigo, aun no siendo pobres, no son propios de suelos muy deficientes; no obstante esto, la significación entre las parcelas siguientes va siendo cada vez más positiva, prueba de la beneficiosa acción del súper sobre el terreno.

En el caso de la fibra bruta, los resultados obtenidos por nosotros marchan de acuerdo con los de M. Holden y M. V. Tracey (24), así como los obtenidos por The United States Plant Soil and Nutrition Laboratory, Ithaca (45), y sólo hemos de añadir que en las condiciones en que realizamos nuestro trabajo fueron positivos los resultados.

En el caso de la proteína, si bien la respuesta no es tan marcadamente afirmativa, sí nos indica que existe una indudable relación entre la riqueza del suelo en fósforo y la de proteína de las plantas, y esta discreta significación se perfila también claramente al considerar los tratamientos entre sí, ya que hasta que las dosis de fertilizante no llegan alrededor de los 500/Ha no da la prueba comparativa diferencia acusable, y aún no es de gran cuantía.

Para el extracto etéreo, la significación es bastante, y quizá el no ser esta determinación muy rigurosa, ya que más que un componente son en realidad todas las sustancias capaces de disolverse en el éter—extracto etéreo.

De los tres elementos minerales, dos de ellos responden positivamente a los nuevos aumentos del fertilizante, el fósforo y el magnesio; todos los resultados que presentaron otros autores en distintas condiciones ecológicas, coinciden con los obtenidos por nosotros en condiciones de medio de nuestro país, y respecto al calcio, ya se mostraba en forma contradictoria su respuesta y la explicación, que consignamos, de que quizá la manifestación de esta mayor concentración de calcio no se hiciera patente hasta el tercer o cuarto cultivo, pueda satisfacer esta diferencia; en un trabajo posterior trataremos de comprobar si, efectivamente, el abonado fosfatado es capaz de incrementar el contenido del calcio de la avena; pero que, como en otros trabajos se ha señalado, no sucede esto sino en la segunda o tercera cosecha.

#### CONCLUSIONES

*Primera.* La fertilización fosfatada, aun en suelos no muy pobres en fósforo, tiene marcados efectos sobre los contenidos de sustancia seca, cenizas, proteínas, fibra bruta, extracto etéreo, fósforo y magnesio, aunque no en el mismo grado.

*Segunda.* El contenido de calcio de la avena—en el primer año de cultivo—no se vió aumentado, frente a las progresivas cantidades de superfosfato que le fueron añadidas como fertilizante.

*Tercera.* Las relaciones  $\frac{Ca}{P}$  y  $\frac{Ca}{Mg}$  no se encuentran sensiblemente modificadas en las condiciones de la experiencia.

*Cuarta.* La alcalescencia, al incrementar las dosis de fosfato, toma cada vez valores más positivos.

*Quinta.* No se encontró significación en las variaciones producidas por el abonado en las cantidades de hierro y manganeso de la avena analizada.

INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL  
*Secciones de Química Analítica  
y Química Agrícola, de Madrid*

#### RESUMEN

En este trabajo se estudia la influencia de un suelo con un contenido bajo de fósforo y del abonado fosfatado en la calidad de la avena cultivada como forraje, habida cuenta de las repercusiones que esto tiene en la salud y producción animal.

Con este fin se ha realizado un experimento en parcelas abonadas con dosis diferentes de superfosfato, a razón de 125, 250, 500 y 1.000 kg/ha, dejando los correspondientes testigos sin abonar.

Los diferentes tratamientos fueron dispuestos utilizando una distribución en cuadrado latino de  $5 \times 5$ , según puede verse en la figura correspondiente.

El análisis químico del forraje obtenido en el primer año de la cosecha mostró un positivo aumento en los contenidos de materia seca, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta, fósforo y magnesio. No se encontró relación en los datos obtenidos para el calcio, hierro y manganeso.

La alcalescencia ascendió para el forraje fertilizado con las dosis más elevadas.

Estas conclusiones fueron confirmadas mediante el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Esto indica la conveniencia de la adecuada fertilización de nuestros suelos agrícolas, puesto que la mayoría de éstos muestran un bajo contenido en fósforo.

#### SUMMARY

We study in this paper the influence of soil with a low content of phosphorus and the phosphatic manure on the quality of oats grown as forage crops in relation with the animal health and animal production.

For that purpose an experiment has been carried out in plots using different amounts of superphosphate, namely, 125, 250, 500 and 1000 kg/ha and control plots without manure.

The different treatments have been set out on a  $5 \times 5$  latin square as shown by the figure.

The chemical analysis for forage grown in the first year, shows a positive increase of the content of dry matter, ashes, crude protein, ether extract, fibre, phos-

phorus and magnesium. The results found for calcium, iron and manganese were not significant.

That alkalinescence rose for forage fertilized, with the higher doses. These conclusions were confirmed by the statistic analysis carried out with the results obtained.

This indicates the convenience of an adequate fertilization of our agricultural soils, since most of them show phosphorus content.

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALBAREDA HERRERA, J. M. 1947. Conferencia del autor.
- (2) ALWAY, F. L. y NESOM, G. H. 1945. *J. Amer. Soc. Agron.* 37: 555.
- (3) ANZINAR SORDO, J. 1941. *Rev. Fac. Agron. Colombia*: 1502
- (4) BARBIER, G. C. R. *Ac. Agric.* 1944 30: 57-60. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1947, 1: 73.
- (5) BARBIERI, J. P. 1946. El problema del fósforo en el país. Montevideo.
- (6) BEESON, K. C. y col. 1948. *J. Amer. Soc. Agron.* 40: 563-566.
- (7) BONDORF, K. A. 1949. *Bulletin de Documentation*, 6: 16-35.
- (8) BOTTO, A. Citado en *Biol. Abst.* 1945, 19: 1.422, núm. 13.085.
- (9) BRONDSKIS, B. Citado en *Biol. Abst.* 1948, 22: núm. 17.031.
- (10) BURRIEL, F. y HERNANDO, V. 1947. *Anal. Inst. Edaf.* VI: 548-582.
- (11) CHING-KWEI-LEE. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1947, 2: 29-30.
- (12) DEMOLON, A. 1943. *Ann. Agron.*, pág. 3.
- (13) ——— 1950. *Croissance des végétaux cultivés*: 221. Paris. 4.ª ed.
- (14) FISHER, R. A., y YATES, F. 1948. *Statistical tables for biological, agricultural and medical research*. London.
- (15) FRANK, O. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1947. 2: 20.
- (16) FUDGE, J. F. y FRAPS. 1947. *Ann. Agron.*, pág. 119
- (17) GÁLVEZ, N. 1946. Curso de química para biólogos: 349.
- (18) GAROLA, J. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1947. 2: 31-32.
- (19) GERICKE, S. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1947. 2: 13.
- (20) GRACIE, D. S. y KHALIL, R. Citado por W. G. Ogg en «Rôle du phosphore en Agriculture». 1949. París
- (21) GREAVES, J. E. y PITTMEN, D. W. 1946. *Soil Sci.* 61: 239-246.
- (22) HAWKINS, A. Citado en *Soil Fert.* 1949. 12: 28.
- (23) HESSLER, L. E. 1947: *J. Amer. Soc. Agron.* 29: 812-816.
- (24) HOLDEN M. y TRACEY, M. V. 1948. *Biochem. J.* 43: 147-151.
- (25) HUFFMAN, C. F. Citado en *Biol. Abst.* 1948. 22, núm. 16.916.
- (26) KRÜGEL, C., DREYSPRING, C. y HEINRICH, F. 1941. *Boden. u. Pflanz.* 20: 307-317.
- (27) ——— y col. 1941. *Boden. u. Pflanz.* 20: 317-330.
- (28) LAG, J. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1948. 3: 39.
- (29) LESAGE. 1938. *Bull. Acad. Med. Vet.*: 375.
- (30) LUNDEGARDH, H. 1925. *Klima und Boden*. Jena.
- (31) MAUME, L. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1949. 5: 49.
- (32) MILLIKAN, C. R. 1940. *J. Dep. Agron. Victoria*. 38: 135-136.
- (33) NOGGLE, G. R. Citado en *Soil Fert.* 1947. 10: 264.

- (34) OGG, W. G. 1949. Rôle du phosphore en Agriculture. Paris.
- (35) ORR, J. B. 1944. Prólogo a la Monografía de F. C. Russell «Minerals in pasture deficiencies and excesses in relation to animal health». Aberdeen.
- (36) PARR, G. H. y SEN. S. Citado en *Bulletin de Documentation*. 1949. 6: 43.
- (37) PETERSON, W. J., SHERWOOD, F. W. y MATRONE, G. Citado en *Soil Fert.* 1949. 12: 42.
- (38) PRAGNOUL. Citado por A. Demolon en «Croissance des végétaux cultivés». 1950. Paris.
- (39) PRINCE, A. L., TOHT, S. J. y BEAR, F. E. 1948. *Soil Sci.* 65: 297-308.
- (40) REYNOLDS, E. B. y WYCKE, R. H. Citado en *Ann. Agron.* 1949. 19: 123.
- (41) RICHARDSON, E. C. 1949. *Ann. Agron.*: 297.
- (42) ROGERS, L. H. y CHIH-HWA-WO. 1948. *J. Amer. Soc. Agron.* 40: 563-566.
- (43) RUBINO, M. C. Citado por W. G. Ogg. en «Rôle du phosphore en Agriculture». 1949. Paris.
- (44) SANFOURCHE. A. 1947. Les engrais phosphatés: 183. Paris.
- (45) SAUCHELLI, V. Citado por W. G. Ogg en «Rôle du phosphore en Agriculture». 1949. Paris.
- (46) SCHMITT, L. y SCHINEIS, W. 1940. *Boden. u. Pflanz.* 17: 293-310.
- (47) SCHOFIELD, J. L. Citado en *Nutrit. Abst.* 1941.
- (48) SCHROPP, W. y ARENZ, B. 1940. *Boden. u. Pflanz.* 17: 310-330.
- (49) SCURTI, F. Citado por W. G. Ogg en «Rôle du phosphore en Agriculture». 1949. Paris.
- (50) SHERWOOD, F. W. y col. 1947. *J. Amer. Soc. Agron.* 39: 841-857.
- (51) SMITH, A. M. Citado por W. G. Ogg en «Rôle du phosphore en Agriculture». 1949. Paris.
- (52) SWIFT, R. W. y col. 1948. *J. Amer. Soc. Agron.* 40: 1.051-1.069.
- (53) THEILER y GREEN. 1936. *Rec. Med. Vet.*: 46.
- (54) TRUOG, E., GOATES, R. J. y GERLOFF, G. C. 1947. *Soil Sci.* 63: 19-25.
- (55) TSCHMITT y STALE. 1935. *Ann. Agric. Suisse.*: 129-161.
- (56) U. S. D. A. Mis. Publ. 664.
- (57) VAN DER PAUWŃ, F. Citado en *Ann. Agron.* 1949. 19: 479.
- (58) WEEKS, M. E. y WALTERS, A. 1946. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11: 189-194.
- (59) WISHART. Citado por Calvet, Zulueta y Arias en «Experimentación agrícola»: 148. 1943.





# SOBRE LA DETERMINACION DE CALCIO Y MAGNESIO EN EL TABACO, SIN PREVIA MINERALIZACION

por

JOSÉ M. R. DE LA BORBOLLA Y ALCALÁ

y

V. CORTÉS MUÑOZ

## INTRODUCCIÓN

Para el análisis mineral de plantas, y en general de materiales orgánicos, se considera un paso obligado la previa mineralización de la sustancia.

Ahora bien, debido a la gran cantidad de análisis necesarios para muchas investigaciones de nutrición vegetal, se han hecho en los últimos años buen número de trabajos cuyo objeto es acelerar la velocidad de las determinaciones. Para ello, generalmente, se sustituye la incineración (que hasta hace pocos años era, prácticamente, el único procedimiento empleado), por la mineralización húmeda, más susceptible de adaptar al trabajo en serie. Por otra parte, se recurre cada día más a los métodos físico-químicos que permiten completar (o realizar totalmente) el análisis con mayor rapidez.

Otras veces se emplean mezclas extractoras que, sin embargo, tienen el inconveniente de no permitir la determinación de la cantidad total del elemento o elementos de que se trate, sino sólo de una fracción de los mismos (5).

Sin embargo, no existen *a priori* razones suficientes para creer que la destrucción total de la materia orgánica sea absolutamente imprescindible, a lo menos por lo que se refiere a algunos de los elementos necesarios para la vida de la planta. Esto es cierto, sobre todo si teniendo en cuenta la variabilidad característica en la composición de

plantas de una misma especie, cultivadas en condiciones al parecer idénticas, y aun de las diversas partes de una misma planta e incluso de un mismo órgano, pretendemos obtener la exactitud relativa suficiente para la investigación principal.

A lo largo de esta línea de trabajo existen también otras posibilidades cuyo estudio hemos emprendido, pero de las que todavía no tenemos la necesaria experiencia. Por ello, nos limitaremos a exponer los primeros resultados obtenidos en la determinación de calcio y magnesio sin previa mineralización. La posibilidad de hacer este género de determinaciones nos fué sugerida hace algún tiempo (4) al comprobar que tratando hojas de tabaco fermentado con HCl diluído se arrastraba todo el calcio y, prácticamente, todo el magnesio que contenían. Este mismo efecto, como es natural, lo tienen también el ácido nítrico y algunos otros ácidos.

#### PARTE EXPERIMENTAL.

Como el objeto de esta primera parte de nuestro trabajo es comparar los resultados obtenidos con y sin mineralización, hemos hecho las determinaciones de los dos elementos, en la solución preparada, por los procedimientos corrientes (3), con la única modificación de que también el magnesio se determina volumétricamente (2).

Para la preparación de la muestra se han comparado los siguientes tratamientos:

a) Incineración en horno eléctrico, a unos 500° C, durante doce horas aproximadamente, continuando, como de ordinario, hasta obtener la solución clorhídrica.

b) Mineralización por vía húmeda (1) con 20 c. c. de ácido sulfúrico concentrado, 25 c. c. de ácido nítrico puro y 1 c. c. de ácido perclórico del 70 por 100. Una vez frío se diluye con agua y se lleva a 500 c. c. Se toman 50 c. c. filtrados u otra parte alícuota conveniente, y se evaporan a sequedad, y luego a llama directa o en un «radiador» hasta eliminar por completo el ácido sulfúrico en exceso. Se trata después con unos centímetros cúbicos de ácido clorhídrico 1:4, se calienta suavemente, se diluye y se filtra directamente al vaso donde se ha de hacer la precipitación del calcio.

c) Aproximadamente un gramo de tabaco en polvo se trata con 25 c. c. de HCl de la concentración deseada, agitando continuamen-

te mientras se verifica la adición del ácido para obtener una buena impregnación y evitar que el polvo del tabaco se adhiera a las paredes del vaso. Se deja en reposo de media a una hora, se filtra por un papel rápido, con o sin succión, y se lava con agua destilada hasta libre de cloruros.

Al filtrado (más o menos coloreado) se le añade un poco de agua oxigenada del 30 por 100 y se hierve; con esto se disminuye la coloración y puede verse claramente el viraje del indicador. Después se le añaden unas gotas de verde de bromocresol y se precipita el calcio como oxalato, siguiendo el procedimiento ordinario. El oxalato cálcico se determina volumétricamente.

El líquido filtrado del calcio se utiliza para la determinación del magnesio. A veces, después de la eliminación de las sales amónicas con  $\text{HNO}_3$ , es conveniente filtrar antes de hacer la precipitación.

En la tabla adjunta se dan los resultados obtenidos con hojas de tabaco fermentado, previamente pulverizadas, por los tres procedimientos anteriores, utilizando, en el último de ellos, varias concentraciones de  $\text{HCl}$ .

Anteriormente se hicieron algunos ensayos con ácido más diluido, obteniéndose solamente una recuperación parcial del calcio.

	Incineración	Mineralización	HCl 1:1	HCl 1:2	HCl 1:3
CaO %	6.51	6.52	6.6	6.36	6.36
	6.54	6.52	6.38	6.5	6.32
	—	6.64	6.32	6.35	6.44
	—	6.48	6.38	6.61	—
	—	6.54	—	6.44	—
	Medias..	6.52	6.54	6.42	6.42
MgO %	—	1.24	—	1.33	—
	—	1.39	—	1.17	—
	—	1.24	—	—	—
	—	1.37	—	—	—
	—	1.27	—	—	—
	Medias	—	1.30 %	—	.25 %

Como se ve, estos resultados son francamente aceptables, habiéndose elegido, para las determinaciones posteriores, el HCl 1:2.

Por este procedimiento la rapidez de la determinación del calcio es extraordinaria, puesto que se eliminan casi todas las operaciones necesarias para la preparación de la solución con los otros métodos.

#### RESUMEN

Se ha hecho un estudio comparativo de la determinación de calcio y magnesio, en hojas de tabaco fermentado, con y sin previa mineralización. Los resultados obtenidos en los primeros ensayos son bastante concordantes, y desde luego se obtienen con mucha mayor rapidez extrayendo el calcio y magnesio, del polvo del tabaco, con ácido clorhídrico y haciendo la determinación directa en dicho extracto.

*Instituto de Biología del Tabaco. Sevilla.  
Sección de Química.*

#### SUMMARY

With fermented tobacco leaves a comparative study of the determination of calcium and magnesium was carried out, with and without previous mineralization. The results obtained from the first tests are rather concordant and certainly obtained with greater rapidity of the calcium and magnesium are extracted with chlorhydric acid from the tobacco powder and the determination are carried out directly with the extract.

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) GERRITZ, H. W. 1935. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 7: 116.
- (2) HILLEBRAND, W. F. y LUNDELL, G. E. F. *Applied Inorganic Analysis*-John Wiley and Sons.
- (3) LOOMIS, W. E. y SHULL, CH. A. 1937. *Methods in Plant Physiology*. McGraw Hill Book Co.
- (4) R. DE LA BORBOLLA Y ALCALÁ, J. M. y CASTRO BRZEZICKI, A. DE. 1947. *Bol. Inst. Nac. Invest. Agrs.*, diciembre.
- (5) WOLF, B. 1943. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 15: 248.

# IMPORTANCIA CIENTIFICA Y PRACTICA DE LA CLASIFICACION Y CARTOGRAFIA DE LOS SUELOS.— EXAMEN CRITICO DEL SISTEMA AMERICANO (\*)

por

J. V. BOTELHO DA COSTA (\*\*)

En cualquier rama del conocimiento humano es fundamental la clasificación, tanto desde el punto de vista especulativo como en relación a la aplicación práctica. El grado de perfección de un sistema de clasificación constituye, en cierto modo, una medida del desarrollo que ha alcanzado la rama a que se refiere. Puede representar el reflejo de una teoría que mejor que las anteriores considera e interpreta los hechos conocidos y rasga horizontes para descubrir nuevos hechos y, finalmente, ello puede dar lugar a que una nueva teoría le suceda e imponga, eventualmente, otra clasificación.

Al considerar el problema de la clasificación del suelo, interesa tener presente que, como dice Kellogg, «los sistemas de clasificación son meras invenciones humanas sujetas a los errores humanos, y su exactitud y utilidad dependen del nivel de conocimientos. Por esta razón, los sistemas de clasificación cambian, deben cambiar con el progreso de la Ciencia; representan una conveniencia y nunca deberán volverse tan rígidos que no permitan utilizar nuevos hechos para perfeccionarse».

Importa más no perder de vista que la Edafología es Ciencia muy joven aún. Sería prueba de flaqueza tomar cualquiera de los actuales sistemas de clasificación del suelo como inmutables, definidos. Hacerlo sería síntoma de ignorancia o un reconocimiento tácito de

---

(\*) Conferencia pronunciada en la Sociedad Española de Ciencia del Suelo, Madrid, 5 de junio de 1950.—Traducción de J. R. Abad.

(\*\*) Del Instituto Nacional Agronómico de Lisboa.

limitado alcance de la Ciencia en cuestión. Por eso, convencido como estoy de la inmensa utilidad que ya ofrecen la clasificación y cartografía de los suelos en la fase actual de los conocimientos, no me eximiré de poner en claro las imperfecciones que hoy padecen. Al contrario, les daré, como se verá, el mayor relieve. Creo que, a pesar de eso, no dejarán de resaltar los hechos el enorme partido que desde ahora puede obtenerse de la elaboración de determinados tipos de mapas de suelos ampliamente justificativo del considerable esfuerzo y gastos necesarios para darles realidad.

Dé entre todos los países, se destacan por su actividad en este campo los Estados Unidos de América del Norte. Por eso, no extrañará que en mi exposición considere con particular cuidado la actuación de la *Division of Soil Survey*, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

La mentalidad esencialmente práctica de los americanos, inmediatamente sugiere que la cartografía de suelos nunca habría alcanzado en ese país tan extraordinario desarrollo si no fuere impulsada por fuertes razones de conveniencia y utilidad. Podría, no obstante, negarse esta conclusión o encarar tal actividad como un lujo que podría darse nación tan rica como esa y al que no pueden razonablemente lanzarse países de recursos más modestos. La verdad es que los Centros de Estudios de Edafología van surgiendo, y los trabajos de cartografía de suelos van extendiéndose poco a poco por todas partes.

La Ciencia del suelo, aunque relativamente joven, ha evolucionado ya lo suficiente para fundamentar sistemas de clasificación que, aunque lejos de ser perfectos, pueden preconizarse con confianza y aplicarse en gran escala. Y no dudo en afirmar que son exactamente las naciones menos ricas las que no pueden darse el lujo de ignorar su alcance y recoger las posibilidades que les ofrece para utilizar de la mejor manera los recursos de que dispone.

Un cuidadoso análisis de los múltiples aspectos de la utilidad de los mapas de suelos daría para una larga exposición. No podré más que referirme sucintamente a algunos de ellos, y así examinaré sucesivamente:

1.º Utilidad en relación con la labor de los centros de Investigaciones Agronómicas.

2.º Utilidad en relación con el ejercicio de la asistencia técnica a la Agricultura.

3.º Utilidad para la acción del Estado en la organización de planes de fomento agrícola, proyectos de hidráulica agrícola, orientación de la colonización interna, etc.

En relación con la investigación agronómica, los mapas de suelos tienen inestimable valor para organizar la experimentación y clasificar los resultados que se van obteniendo acerca de las formas más convenientes de aprovechamiento del suelo. Sobre todo, nos sirven para hacer posible la aplicación segura de las conclusiones a que se va llegando.

En efecto, disponiendo de mapas de suelos resulta fácil orientar de la mejor manera la localización de los ensayos referentes, por ejemplo, a la fertilización, corrección o conservación del suelo; a sistemas de movilización; a las rotaciones de cultivos; a la elección de variedades, etc. Por otro lado, a la vista de los mapas de suelos, las conclusiones obtenidas en el área restringida de los campos de ensayo establecidos en suelo de un tipo determinado, pueden, dentro de ciertos límites, generalizarse a toda la extensión ocupada por los suelos de ese tipo en iguales condiciones de clima. Dicho de otro modo, los mapas de suelos permiten reunir al máximo rigor científico en la experimentación, la máxima utilización práctica de sus conclusiones, con seguridad que de otra forma no sería posible alcanzar. Garantizar mayor objetividad en la experimentación, mayor rapidez en la obtención de conclusiones, mayor alcance y seguridad en la asistencia técnica.

Como veremos, los mapas detallados de suelos, y las Memorias respectivas, reúnen la información esencial referente a la utilización de los suelos de las regiones que interesan, tanto la adquirida a través de la experiencia secular de los agricultores, como la que, en la fecha de su publicación, haya puesto de manifiesto la investigación agronómica. Son así preciosa fuente de información para los agentes de la asistencia técnica a los agricultores. En efecto, en vez de encontrarse sin apoyo, salvo el de los conocimientos de orden general, en relación a cada problema que les sea consultado, pasan a estar provistos de datos prácticos y científicos debidamente clasificados y objetivados. Señores de lo esencial de la experiencia ajena, a más de la propia, pueden, pues, ejercer su actividad con mucha mayor eficacia, de la cual depende, en último análisis, el éxito o fracaso de la acción del Estado en el perfeccionamiento de la técnica agrícola.

Viendo ahora la cuestión por otro lado, es cierto que no hay Go-

bierno de país civilizado que no juzgue indispensable, para gobernar eficazmente, el conocimiento, por ejemplo, de datos concretos sobre cantidad y distribución de la población, de la riqueza mineral del subsuelo, las posibilidades—ya aprovechadas o en potencial—de la energía hidroeléctrica. ¿No será razonable reconocer como necesario para el mismo fin el conocimiento e inventario cuidadoso del suelo? ¿Y cómo podrá el Estado intervenir con eficacia y equidad en los problemas de la producción agrícola nacional; cómo podrá lanzarse con éxito a impulsar o efectuar él mismo realizaciones de gran envergadura y alcance, ligadas a la explotación del suelo, sin disponer de tal información?

No puedo ocuparme con detalle de la aplicación práctica de los mapas de suelos para el fomento de determinados cultivos; para la organización de la explotación de acuerdo con las necesidades de defensa de la tierra; para la orientación de la colonización; para las grandes obras de hidráulica agrícola, etc.

Creo, sin embargo, que lo que queda dicho bastará para dar idea de este aspecto de la utilidad de la cartografía de los suelos.

Indicado así, en trazos generales, para qué sirven los mapas de suelos, es imponente examinar ahora los principios en que puede basarse su ejecución en la fase actual de conocimientos. De este modo volvemos al problema básico de la elección de criterio de clasificación del suelo.

Las características que distinguen unos suelos de otros dependen de los factores que intervienen en su formación y del grado de desarrollo que los suelos hayan alcanzado. «Roca madre» y «relieve» es costumbre designarlos por «factores pasivos» de la formación del suelo. «Clima» y «materia viva» (especialmente la vegetación), por «factores activos». De la naturaleza de cada uno y del tiempo que los últimos han actuado dependen las propiedades de los suelos que pueden aún ser modificadas considerablemente por la acción del hombre.

Buscando criterio para clasificación del suelo, se ha abusado un poco de paralelos con la clasificación zoológica o botánica. Como apunta Jenny, se olvida que, contrariamente a los animales y a las plantas, los suelos no tienen poder de reproducción ni herencia y que, al revés de lo que ocurre en los organismos, las propiedades de los suelos son exclusivamente determinadas por los factores activos o pasivos, internos o externos, que intervienen en su formación. Ex-



presiones tales como «génesis del suelo», factores genéticos», etc., vulgares en el lenguaje edafológico, tienen, como es obvio, significación y alcance enteramente diferente que cuando se usan referidas a los organismos vivos.

Esta estrecha dependencia entre los caracteres del suelo y los factores que intervienen en su formación, explica la importancia que han alcanzado las consideraciones de orden «genético» en la clasificación de suelos. Esto, por otra parte, crea dificultades para la ordenación de los suelos en esquema taxonómico que satisfaga integralmente los requisitos de una «Clasificación natural».

Veamos otro aspecto al que resulta poco apropiado el paralelismo que señalé. No hay duda que hay suelos muy diferentes, poseyendo marcada individualidad. Sin embargo, tengamos presente que lo que pueda llamarse una «unidad suelo» tiene «superficie inferior interna» que no es fácil de especificar, y en cuanto a las «superficies laterales limitantes», sólo pueden definirse muchas veces de forma vaga y, hasta cierto punto, convencional. Pueden, en efecto, ser nítidas en su intersección con la superficie del terreno cuando, por ejemplo, cambia bruscamente la naturaleza de la roca-madre o el relieve. Sin embargo, ordinariamente, la variación de características es gradual, y la demarcación de la línea separatoria entre dos «unidades suelo», no es más que el trazado de la línea media escogida en la faja de transición gradual entre dos unidades. Debe, pues, reconocerse francamente que, por ejemplo, la definición de «especies edafológicas» no puede hacerse con precisión y rigor comparables a los que normalmente corresponden a las especies zoológicas o botánicas.

La individualización de la Edafología está ligada al choque de dos conceptos relativos a la génesis y clasificación de los suelos. Para simplicidad de exposición podemos designarlos por «Concepto geológico» y «Concepto climatológico».

El primero partió de las relaciones existentes entre los suelos y los materiales de que derivan. El segundo dió relieve especial a la influencia del clima y tuvo expresión en la conocida «ley de la zonabilidad de los suelos».

Puede decirse que el «concepto geológico» falló como criterio base, de sentido universal y comprensivo, para la clasificación de los suelos. En efecto, no existen dudas de que a partir de materiales originarios idénticos pueden formarse suelos muy diferentes, se-

gún la naturaleza del clima y de la vegetación y de acuerdo con la edad o grado de madurez. Así, por ejemplo, suelos formados a partir de rocas graníticas en Portugal o en Angola, presentan, en general, diferencias muy nítidas que lógicamente conducen a separarlos y no a agruparlos en un esquema general de clasificación. Pero no deja por esto de ser verdad que, en igualdad de otras condiciones de formación, pueden encontrarse suelos muy diferentes debido a la diferente naturaleza del material originario.

En lo que se refiere al «concepto climatológico», no hay duda que, en igualdad de condiciones de clima, tienden a desarrollarse, aunque con intensidad muy variable con el propio carácter de clima, tienden a desarrollarse, decía, suelos con trazos de semejanza más o menos firmes, aunque provengan de materiales originarios muy diversos. No es menos cierto que la llamada «ley de zonalidad» está lejos de tener el rigor y alcance que los primeros entusiasmos le llegaron a atribuir.

La verdad es que las características de los suelos dependen de todos los factores que intervinieron en su formación. La medida en que cada uno de ellos se refleja en estas características es muy variable, no sólo con el carácter de aquéllas, sino con el grado de desarrollo del suelo. De este modo, las clasificaciones de orden genético no podrían ser satisfactorias si fuesen exclusivistas, esto es, si tomasen en consideración únicamente uno de los factores de formación, o le atribuyesen un peso exagerado.

Un determinado conjunto de características correspondientes a una «unidad suelo» puede haberse desarrollado como resultado del juego de combinaciones variadas de los factores de formación. En otras palabras, puede concebirse la formación de suelos semejantes aun cuando los materiales de que se formaron, el clima y la vegetación de las regiones en que se encuentran, difieran en mayor o menor grado. Las combinaciones de condiciones de formación que dieron lugar a resultados análogos, pueden considerarse equivalentes en los períodos de tiempo en que se originaron tales resultados.

Estas y otras dificultades han conducido a varios autores a preconizar el abandono puro y simple de los principios de orden genético en la organización de esquemas de clasificación del suelo. Según ellos, la clasificación deberá apoyarse exclusivamente en las características que los suelos presentan, independientemente de las circunstancias responsables de su presencia.

Basándose en lo que sucede en la clasificación botánica y zoológica, algunos llegan al extremo de considerar como ilógicas y anti-científicas las llamadas «clasificaciones genéticas» de los suelos. Ya vimos que hay diferencias fundamentales entre el modo como la cuestión puede plantearse, por un lado en relación a la clasificación de organismos vivos, y, por otro, a la clasificación de suelos. A tal respecto, Jenny hace notar que, dadas las numerosas correlaciones existentes entre propiedades y factores de formación del suelo, no parece haber justificación teórica para actitud tan enteramente negativa como la que acabo de referir. Robinson, por su parte, pone de manifiesto que desde el punto de vista científico ningún sistema de clasificación podrá considerarse satisfactorio si no da expresión a las relaciones genéticas entre los diversos suelos.

Apreciando este conflicto de opiniones o de tendencias, es curioso señalar que en Ciencia menos reciente—la Petrología—hay cuestiones de la misma índole que están igualmente en suspenso. Repárese en la posición dudosa de las «rocas piroclásticas», cuya génesis las aproxima a las rocas ígneas y cuyas características esenciales las ligan a las rocas sedimentarias. Repárese también, en relación a estas últimas, que su clasificación genética da lugar a la agrupación de muchas calizas con rocas de composición totalmente diferente al paso que la clasificación basada en la composición y características, reuniendo en el mismo grupo todas las calizas, agrupa rocas de origen orgánico con rocas de origen puramente químico. A pesar de ello, nadie pondrá en duda la utilidad de los esquemas de clasificación en que la Petrología se apoya. Sirva esta comparación de lenitivo a los edafólogos, dadas las muchas dudas que aún padecen los sistemas de clasificación del suelo que hasta la fecha delinearon...

El sistema americano de clasificación de suelos, en su fase actual de desarrollo constituye, en cierto modo, una solución intermedia entre las dos corrientes fundamentales que procuré definir. En efecto, se ampara en principios de orden genético, pero se apoya en gran medida en la especificación de características. A juzgar por las publicaciones más recientes, parece ser que buscando equilibrio más estable, y procurando la mayor conveniencia y utilidad, se afirma en la *División of Soil Survey* cierta tendencia para dar mayor peso al segundo aspecto, en detrimento del primero.

Estoy personalmente convencido de que acabarán por desapare-

cer de la nomenclatura taxonómica de la Edafología términos y expresiones referentes a las condiciones climáticas, o a la vegetación. Sin embargo, no creo que en la clasificación de suelos se llegue nunca a abstraer totalmente del significado genético, de la naturaleza e intensidad de expresión de las características que los distinguen unos de los otros.

Cuando hablo de características del suelo, me refiero, evidentemente, a las características del «perfil» y no apenas a las de su porción más superficial. Otra actitud no sería admisible en nuestros días, sea desde el punto de vista científico o del punto de vista práctico. En efecto, no puede interpretarse la formación del suelo, comprender su dinámica, definirlo como cuerpo natural, atendiendo únicamente a una parte del todo. De la misma manera, en relación con el desarrollo de las plantas, no basta estudiar parte del espesor alcanzado por las raíces, ni puede ignorarse la naturaleza de los niveles inferiores que afectan considerablemente las condiciones de humedad y otras en la zona del desarrollo radicular.

Por otro lado, cuando hablo de características del suelo tengo «in mente» no sólo las que se valoran y especifican por el estudio de muestras de tierra del laboratorio, sino también las características morfológicas que se observan en el mismo campo. El sistema americano se distingue hasta por el valor que atribuye y por el partido que saca de estas últimas.

También esta actitud se justifica por razones de orden científico y práctico.

En cuanto al primer aspecto, no hay razón que pueda apuntarse para no considerar los caracteres morfológicos en la definición de «unidades suelo». Además, los caracteres morfológicos pueden persistir por largo tiempo después de la alteración de los caracteres físico-químicos que los determinaron, de modo que el más completo estudio en el laboratorio podrá no revelar aspectos de evidente importancia. De la misma forma, en relación a la apreciación agronómica, los datos de laboratorio, por sí solos, pueden ser manifiestamente insuficientes. Supóngase que se dispone, con respecto a un determinado suelo, de los más completos datos de laboratorio: Mineralogía de materia coloidal inorgánica, análisis de la materia orgánica, capacidad de cambio, bases de cambio, porcentaje de saturación, pH, análisis físico, constantes físicas, etc., etc. Imagínese que se ignora, por ejemplo, el espesor de los horizontes y si hay o no formaciones

impenetrables por las raíces y, en el caso afirmativo, a qué profundidad, y que tampoco se sabe nada en cuanto al declive. Es obvio que sin el conocimiento de estos aspectos morfológicos simples, poco se podrá decir con respecto a la utilización de ese suelo, a pesar de la completísima información del laboratorio.

Por otra parte, sin recurrir a observaciones morfológicas, la cartografía detallada de suelos sería de tal modo cara, lenta y trabajosa, que sólo podía tener muy limitada aplicación, puesto que exigiría un número irrealizable de análisis de una cantidad astronómica de muestras. La semejanza morfológica asegura normalmente una variación relativamente limitada de las características físico-química más fundamentales y estables. Definidas las unidades suelo por la morfología, el estudio en el laboratorio de «muestras representativas» de cada una, cogidas en locales típicos, permite obtener valores representativos de los datos físico-químicos correspondientes y hasta determinar límites de variaciones de éstos dentro de la unidad en cuestión. Si la variación se considera excesiva para permitirse dentro de la misma unidad, podrá entonces tener justificación el realizar determinaciones analíticas de mayor número de muestras para hacer posible las distinciones a que haya lugar.

Así puede suceder, por ejemplo, en el estudio de los suelos halomórficos, lo que ha conducido a recurrir a determinaciones aproximadas de salinidad, en pleno campo, por medio de un puente electrolítico.

Determinaciones suficientemente aproximadas de pH pueden hacerse en pleno campo y ya se usan durante el trabajo ordinario de cartografía de suelos. Es de suponer que puedan llegar a ser practicables otras determinaciones de orden químico durante este trabajo.

En resumen, los datos morfológicos o los datos físico-químicos, por sí solos, son insuficientes para la clasificación de los suelos. Unidos aumenta su valor individual para definición de «unidades suelo» y su apreciación agronómica, y resulta prácticamente posible la cartografía detallada. En el estado actual de nuestros conocimientos, son en número restringido las determinaciones prácticamente realizables durante el trabajo de campo. El sistema americano de cartografía de suelos tiene base esencialmente morfológica, completada con el estudio en el laboratorio de muestras representativas juiciosamente escogidas.

El sistema americano tiende a incluir en disposición ordenada to-

dos los suelos del globo. Como en los esquemas de clasificación de otras ciencias, establece categorías taxonómicas, de la más simple a la más general y amplia.

Las designaciones adoptadas para las diversas categorías son las siguientes, de la más baja a la más alta :

*Fase.*

*Tipo.*

*Serie.*

*Familia.*

*Gran grupo.*

*Suborden.*

*Orden.*

Comenzaré por considerar la categoría más alta, el «orden», y estudiaré sucesivamente las restantes.

Son tres los órdenes del esquema americano de clasificación de suelos: «suelos zonales», «suelos intrazonales» y «suelos azonales». Estos términos, que, como se sabe, fueron primeramente usados por Sibertzjev, tienen, en el sistema americano, el significado siguiente: «suelos zonales» son suelos con características bien desarrolladas que reflejan la influencia de los factores activos de la génesis del suelo. «Suelos intrazonales» son suelos con características más o menos bien desarrolladas que reflejan la influencia de algún factor local, como el material originario o el relieve, dominando sobre el efecto normal del clima y de la vegetación. Finalmente, «suelos azonales» son suelos cuyo perfil todavía no refleja con claridad la influencia de los factores activos de la formación del suelo, debido a la poca edad o circunstancias que impiden el desarrollo de las características del perfil llamadas normales.

Obsérvese que en las definiciones que he citado no se hace referencia al punto fundamental que el propio término zonal inevitablemente trae al espíritu. Me refiero, claro, a la correlación suelo-clima, al conocido principio de zonalidad a que ya tuve ocasión de referirme. Ahora bien, no hay duda que los conceptos que originaron la nomenclatura de Sibirtzjev estimularon considerablemente el desarrollo de la Ciencia del Suelo, y todavía hoy tienen enorme interés, aun cuando se sabe que están lejos de verificarse siempre en la naturaleza con el rigor que inicialmente se les atribuyó. Es cierto que los suelos de determinado grupo del orden de suelos zonales se encuentran, por regla general, más extensamente representados en

determinadas condiciones de medio dominadas por ciertas características climáticas. Tampoco es menos cierto que con más o menos frecuencia y en mayor extensión, pueden encontrarse en condiciones diferentes, en zona considerada típica de otro grupo. Así, como acentúa Joffe, «pueden encontrarse Podzoles en la zona de los Tchernozems, Tchernozems en la zona de los suelos *Brown-chestnut*, suelos grises forestales en la zona de los Tchernozems, etc.». Quiere decir que «los suelos intrazonales están en muchos casos constituidos por grupos zonales deslocalizados de su medio natural».

Este concepto, perfectamente lógico desde el punto de vista de la génesis del suelo, pone en relieve los inconvenientes de la nomenclatura de los órdenes en el esquema americano. En efecto, si, como dice Joffe, un Podzol puede encontrarse en zona de Tchernozems será allí, de hecho, desde el punto de vista genético, intrazonal. No obstante, la organización del esquema americano obliga a designarlo como zonal. Agrega que hay casos en que es más lícito hablar de «complejos zonales» que de «grupos zonales», pudiendo tales complejos incluir grupos intrazonales que, además, pueden tener ahí, hasta cierto punto, carácter zonal. Complicando más las cosas y haciendo aún menos conveniente la nomenclatura, pueden encontrarse suelos cuyo perfil refleje nítidamente la influencia de los factores activos de su génesis, en el período en que se formaron, pero que se encuentran ahora, con carácter intrazonal, bajo condiciones de clima muy diferentes a las que no corresponden las características que los suelos representan.

A mi juicio no está justificado conservar la nomenclatura de Sibirtziev en los esquemas de clasificación. Estoy convencido de que no se mantendrá por mucho tiempo en el esquema americano, tanto más que Thorp y Smith, dos notables miembros de la *Division of Soil Survey*, ya han reconocido:

1.º Que las órdenes zonal e intrazonal sólo pueden definirse en términos genéticos y no hay característica alguna mutuamente exclusiva de estos dos órdenes.

2.º Que el concepto de que cualquier grupo de suelos zonales se encuentra en una única zona climática y biótica tiene muchas excepciones.

3.º Que algunos suelos intrazonales y zonales muestran muchas características azonales...

Es verdad que agregan que, no obstante, los órdenes actualmen-

te incluidos en el esquema americano, aun cuando no sean naturales, sirven el propósito de una clasificación natural, por mostrar relaciones y ayudar a recordar características. De esta última afirmación me permito discordar en parte, por que no veo que ayude a recordar características la inclusión, en el mismo orden de suelos tan diferentes como, por ejemplo, los Tchernozems y los suelos de las Tundras, al paso que los Rendzinas, cuyas características los aproximan a los Tchernozems, están separados de éstos, visto que forman parte de un orden diferente. Por lo demás, los mismos autores reconocen que el esquema de clasificación sería más útil si fuese posible definir órdenes en términos de características de los suelos, indicio éste evidente de la tendencia, que ya tuve ocasión de señalar, a evolucionar en el sentido de dar más peso a las propias características de los suelos, que a las condiciones de su formación.

Pasando de los «órdenes» a los «subórdenes», verificamos también que su definición y nomenclatura dejan mucho que desear. Basta notar que se designan, en unos casos, a partir de las zonas climáticas de ocurrencia; en otros, considerando a un tiempo cierto carácter de los suelos y la zona climática de la cual son considerados zonales; en otros, el carácter de la vegetación, y en otros aún, cierto carácter de los suelos, condiciones climáticas y vegetación. Por otro lado, el criterio genético, más o menos ligado al de las zonas de ocurrencia, ya no es aplicado a los subórdenes del orden de suelos intrazonales. De este modo, el criterio de clasificación varía incluso dentro de la misma categoría taxonómica, lo que no recomienda mucho el sistema.

Llegamos forzosamente a la conclusión que, en lo que se refiere a definición de órdenes y subórdenes, los defectos del actual esquema de clasificación de la *Division of Soil Survey* son demasiado graves para permitir que pueda perdurar. La necesidad de revisión y perfeccionamiento está, desde luego, abiertamente admitida por algunas de las figuras representativas de aquel organismo con elevado espíritu científico y notable ecuanimidad.

Aunque no me sea posible, en tan corto espacio de tiempo, hacer una larga referencia a otros sistemas de clasificación además del americano, no puedo dejar de mencionar el de De Sigmod, que, a mi entender, no ha tenido todavía la repercusión que merece.

Este sistema atiende considerablemente a principios de orden genético para selección de las características que considera en la defi-



nición de agrupaciones. Por lo tanto, contrariamente a lo que sucede en el sistema americano, las categorías más elevadas son establecidas de acuerdo con las propiedades de los suelos, sin referencia a aspectos más o menos hipotéticos del grado de desarrollo o de la zonalidad. Como consecuencia, no se verifican en él separaciones de suelos con nítida afinidad de características ni agrupaciones no menos inconvenientes de suelos con características profundamente diversas. Así, por ejemplo, al contrario de lo que sucede en el esquema americano, los Rendzinas y los Tchernozems quedan reunidos en el mismo orden de «suelos calizos».

Volvamos al sistema americano y, una vez analizadas las categorías de orden y suborden, pasemos a la categoría «gran grupo».

Esta categoría abarca antiguos «tipos genéticos» definidos por Sibirtziev, Glinka, etc., y otros de creación más reciente.

Al contrario de las categorías que primero discutí, la categoría «gran grupo» tiende a afirmarse y, sin sombra de duda, ha revelado ser de una utilidad incomparablemente superior a aquéllas. Es curioso señalar que Thorp y Smith atribuyen su mayor utilidad, entre otras razones, al hecho de que la influencia genética, tan fuertemente predominante en las categorías orden y suborden, se mantienen dentro de límites razonables en la categoría que ahora consideramos.

Es importante señalar que la definición de varios grandes grupos es todavía imprecisa, y que de ninguna forma puede considerarse completa la lista de grandes grupos que figura en el actual esquema de clasificación de suelos de la *Division of Soil Survey*. Basta notar a este respecto que el progreso de los trabajos de cartografía edafológica en territorios ultramarinos británicos, holandeses, belgas, portugueses y otros, ha demostrado claramente la necesidad de revisión de la taxonomía y nomenclatura de los suelos tropicales, necesidad que Kellogg es el primero en admitir.

Insisto en este punto porque no son pocos los casos en que se han tomado como dogmáticamente inmutables aspectos del sistema americano, que al final sus propios autores tienen por provisionales. Como consecuencia, como incisivamente apunta Pendleton, no es raro que hayan incluido en grandes grupos ya establecidos suelos que en realidad no les pertenecen.

Desde el punto de vista agronómico, la categoría gran grupo presenta ya considerable interés, pero en general está aún lejos de ser suficiente, dada la considerable variación de propiedades que cada

grupo engloba. Pendleton llega incluso a afirmar que raras veces, o tal vez nunca, los grandes grupos podrán ser, en región alguna, las unidades más lógicas y útiles desde el punto de vista agronómico.

Antes de pasar a comentar las categorías restantes, considero conveniente detenerme un poco en la apreciación del hecho de que el sistema americano establezca grandes grupos del orden llamado «suelos azonales».

Glinka acentuaba que no podían considerarse como suelos los materiales en los que los factores activos de la génesis del suelo no hubiesen aún provocado modificaciones. El punto de vista es indiscutiblemente lógico y fundado, si a la palabra suelos se liga el sentido de cuerpo natural, resultante de las fuerzas naturales en juego en el local en que se encuentran, incluyendo especialmente las acciones biológicas. En este orden de ideas, la expresión «suelos azonales» es en sí misma contradictoria. Por tanto, aceptando en absoluto aquel principio estamos forzados a excluir de los esquemas de clasificaciones de suelos muchas formaciones aluviales, en las que generalmente existe intensa actividad agrícola.

En el esquema americano aparecen los «suelos aluviales» con la categoría de gran grupo. Se argumenta que, pocos años después de la deposición de los aluviones, los materiales que los constituyen presentan ya modificaciones debidas a procesos pedogénicos, posiblemente aún no expresados en la morfología del perfil, pero reconocibles por lo menos en el laboratorio. Merecen por eso designarse como suelos y figurar en el esquema de la clasificación edafológica.

Pocos estarán en desacuerdo con esta actitud, sobre todo debido a su alcance práctico, ya que de otro modo se colocarían los edafólogos en la posición un tanto ridícula de rehusar a considerar formaciones que desde el punto de vista agrícola incluyen suelos de los más importantes del mundo. No obstante, en relación con la clasificación y cartografía detallada de los suelos, tal resolución trae dificultades especiales si no tuviese el valor de modificar un tanto algunos conceptos consagrados.

Réstame considerar las categorías «familia», «serie», «tipo» y «fase».

La primera representa, como es obvio, agrupación de series en conjunto de categoría intermedia entre la serie y el gran grupo. Desde el punto de vista agronómico, puede tener considerable interés del cual tal vez todavía no se ha sacado todo el partido posible.

Las categorías «serie», «tipo» y «fase» son las que más valor tienen desde el punto de vista agronómico. Puede decirse que representan la más importante contribución americana en lo que se refiere a la utilización agronómica de la clasificación y cartografía de suelos. Lo que al iniciar mi exposición apunté referente a la utilidad de los mapas de suelos se refiere esencialmente a los mapas en que serie, tipo y fase son las unidades de clasificación y las principales unidades cartográficas.

En su conocido *Soil Survey Manual*, escribió el actual Jefe de la *Division of Soil Survey* acerca de los mapas de suelos referentes a estas tres categorías taxonómicas: «Aunque el propósito fundamental del trabajo sea servir objetivos prácticos, debe necesariamente basarse en principios científicos. Si se violan tales principios, el trabajo pierde su valor científico y así mismo su valor práctico.»

Tal afirmación no debe interpretarse como que en la cartografía detallada de suelos, referente a las categorías inferiores de la clasificación americana deba hacerse abstracción de consideraciones de orden práctico. En efecto, la definición de «fases» se hace según criterio esencialmente práctico y la propia distinción de series, aunque regulada por principios científicos está afectada por consideraciones de orden práctico. Pero nunca dejan de considerarse los suelos como «entidades», para tomar aisladamente ésta o aquella característica como base de clasificación. En este último caso habría de hecho violación de principios científicos.

La definición oficial del concepto americano de «serie» es la siguiente: «Un grupo de suelos que tienen horizontes genéticos semejantes en cuanto a las características diferenciales y disposición en el perfil del suelo, excepto en cuanto a textura del suelo superficial, y desarrollados a partir de un tipo particular de material originario.»

Este concepto difiere considerablemente del concepto inicial de la serie, y es de creer que sufra aún modificaciones.

Notemos que en él se atribuye considerable peso al factor litológico, puesto que para pertenecer a la misma serie tienen que estar formados los suelos a partir de un determinado tipo de material originario.

Notemos, por otra parte, el énfasis que en la definición oficial americana se da al carácter de los horizontes genéticos, como determinación de las series. En este último aspecto no se ve que la defi-

nición pueda mantenerse en absoluto en lo referente a los llamados suelos azonales, a menos que se desista de la separación de series en relación con estos suelos, o que cada serie pase a abarcar tal variedad de características que su valor y significado agronómico se reduzcan enormemente. En efecto, en los suelos aluviales, por ejemplo, las capas constituyentes representan, en gran parte, si no totalmente, diferencias de materiales originarios y no el resultado de la acción de los factores activos de la formación del suelo. Tales dificultades no son de forma alguna insuperables y se han resuelto satisfactoriamente en la práctica.

La distinción de «tipos» dentro de una serie, de acuerdo con la textura del suelo superficial tiende a desaparecer. Bien vistas las cosas, creo que la inclusión de varios tipos en una serie no pasa de ser una herencia incómoda del concepto original de la serie, puesta de lado hace mucho. Normalmente, las series son unitípicas o incluyen, cuando mucho, dos tipos, lo que equivale a decir que serie y tipo, como unidades taxonómicas, tienden a fundirse.

Es evidente que una serie unitípica, o si quisiéramos, un tipo, definido según las líneas generales señaladas, constituye una unidad suficientemente homogénea para muchos problemas de utilización del suelo. En efecto, los suelos incluidos en un dado tipo se han formado a partir de determinado material originario, definido por ciertos caracteres físicos y mineralógicos; el material que los constituye es semejante, y semejantes son el espesor, color, textura, estructura y compacidad de los horizontes. El contenido en carbonatos y otras sales, la reacción y la proporción de materia orgánica son también características determinativas de la unidad, y son también tomadas en consideración determinaciones como la capacidad de cambio.

Los límites de variación de características dentro del mismo tipo de suelo son en cada caso establecidos atendiendo al significado que tienen para la caracterización del suelo como cuerpo natural, y para el desarrollo de la vegetación natural y de las plantas cultivadas. Como acentúa Kellogg, no es posible establecer reglas rígidas en cuanto a distinción de las unidades y la apreciación del clasificador debe apoyarse en la Fisiología vegetal y en la Agronomía.

En el aspecto «características del perfil» no es prácticamente posible descender a mayor grado de pormenor que el indicado. Dentro de un tipo determinado, tiene, pues, que admitirse, aun así, cierta heterogeneidad, aunque limitada. Así, por ejemplo, el nivel de ferti-

lidad que en dado momento presentan los suelos de cierto tipo puede variar un tanto consonante con la naturaleza de los cultivos y el sistema de fertilización. Su fertilidad intrínseca es semejante, pero el contenido en fósforo asimilable, por ejemplo, puede variar según que el agricultor recurra sistemáticamente a abonos fosfatados o, por el contrario, apenas los aplique ocasionalmente y en pequeñas cantidades. A estas variaciones accidentales e inestables no puede normalmente dárseles expresión en los mapas de suelos.

Dadas las semejantes características del perfil que por definición existen en suelos del mismo tipo, se deduce que las características externas y las condiciones del medio deben también ser semejantes en toda su extensión geográfica. A cada tipo deberán, pues, corresponder condiciones relativamente poco variables de clima y de relieve del terreno, tanto menores cuando más completamente desarrollado sea el suelo. No obstante, e incluso en el caso de suelos maduros, dentro del área ocupada por el mismo tipo de suelo, las diferencias de orden climático pueden tener importancia para los cultivos, y este hecho no puede ignorarse al generalizar las conclusiones experimentales dentro de un mismo tipo de suelo. Del mismo modo, la variación de características externas del suelo, dentro del mismo tipo, aunque de ordinario sea relativamente limitada, puede ser suficiente para afectar el modo de utilización del suelo. A estas últimas variaciones atiende el sistema americano, distinguiendo diferentes «fases» dentro del mismo tipo, cuando así lo aconsejan consideraciones de orden práctico. Las características a las que más vulgarmente se atiende para la separación de las fases son, además del relieve, la pedregosidad y el grado de erosión.

Es, pues, evidente, como ya resalté, que el sistema americano permite definir «unidades suelo» suficientemente homogéneas para que tengan significado agronómico bien marcado. Diferencias accidentales y transitorias tales como el contenido de elementos nutritivos asimilables, no impiden, por ejemplo, que en relación a una fase de determinado tipo se definan; la naturaleza y sucesión de cultivos, las variedades más recomendables, las técnicas más aconsejables de labranza y preparación del terreno, la política de fertilizantes más adecuada, etc. En otras palabras, la homogeneidad que se garantiza en cada unidad-suelo basta para asegurar la utilidad de los mapas de suelos, permitiendo definir la utilización de éstos por la interpretación de datos científicos y de los acumulados por la experiencia, cla-

sificar los conocimientos que se refieren a ellos y aplicarlos directa y fácilmente en áreas definidas. Determinaciones locales de índole varia completarán, cuando sea necesario, los datos que los mapas de suelos proporcionan para la solución de problemas de fertilización y otros. Nuevos datos experimentales y mayor experiencia, aumentarán sucesiva y objetivamente la utilidad del mapa. Los mapas de suelos de la *Division of Soil Survey*, basados en reconocimientos detallados, muestran esencialmente, por medio de colores y símbolos apropiados, la distribución de series, tipos y fases, incluyendo también, en algunos casos, «complejos» de estas unidades y «tipos mixtos de terreno». La respectiva descripción se da en las Memorias correspondientes que, además, incluyen descripción del área a que se refiere el mapa, con datos climatológicos, económicos, agronómicos y otros que interesan a la naturaleza y utilización de las unidades suelos, cuya distribución indica el mapa. Así se indican la productividad, las técnicas agrícolas más convenientes, etc., en relación a las mismas unidades.

En estas consideraciones acerca de la clasificación y cartografía de suelos he procurado dar idea de las dificultades especiales de la clasificación de los suelos, del modo como van siendo vencidas y de los defectos que aún padecer los sistemas existentes. He analizado críticamente uno de los sistemas más conocidos, de uso consagrado en América. No he procurado esconder sus defectos, mas sí justo realce a sus cualidades, que son suficientes para concederles innegable valor. En lo que se refiere a la cartografía detallada, apenas en pormenores pueden parecer necesarias alteraciones impuestas, en algunos casos, por consideraciones que en América se dan fortuitas pero que pueden ser dominantes en otros países. Esto no impide que, en sus líneas generales, el sistema americano de cartografía detallada de suelos corresponda a las necesidades y satisfaga los objetivos que se propone, con utilidad que me parece evidente.

Para terminar, quiero acentuar que la cartografía de suelos no se presenta como panacea milagrosa para resolver los mil y un problemas de la explotación de las tierras, agravados cada día por el aumento de población y por el propio progreso de la civilización, por la necesidad de elevar la producción para garantizar el presente sin provocar degradación que comprometa el futuro.

Afirmase, eso sí, con serenidad y convicción, como medio de conseguir datos fundamentales para plantear muchos problemas y ayudar considerablemente a resolverlos.

### III CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA, EN ITALIA

En los primeros días de mayo terminó sus sesiones, bajo el patronato de la F. A. O., esta Asamblea internacional, consagrada a temas de técnica agrícola, cuyas sesiones tuvieron como escenario principal a Roma. Destacó por su importancia, para nuestros lectores, el trabajo de la que se titula Sección primera de la *Commision Internationale de Genie Rural*, dedicada a Hidráulica y Conservación del suelo, donde fueron tratados aspectos tan trascendentes para la agricultura como «Dotaciones de agua para el regadío» y «Procedimientos rápidos de dirigir y contrarrestar la erosión». La magnífica ponencia del Profesor Passerini sobre este mismo asunto adquirió extraordinario relieve con una visita a los terrenos recuperados en la agreste comarca de Volterra, por procedimiento parecido al de nuestras viejas «gabias» canarias.

Se caracteriza la región vóltterrana por un régimen irregular de precipitaciones de carácter torrencial, a veces, que hacen imposible el aprovechamiento agrícola de las laderas con fuerte desnivel. La solución de repoblarlas con especies forestales y restablecer así la defensa natural arbórea que destruyeron las guerras y talas desordenadas, no es compatible con los apremios que impone a Italia su insuficiente territorio y la densidad demográfica con necesidades crecientes de alimentos y materias primas de origen agrícola y ganadero. Por ello, la urgencia de crear nuevas tierras de labor, impidiendo que el agua torrencial arrastre al mar las que pueden convertirse en fértiles terrazas contenidas a su paso por el valle. De ahí la fórmula de construir pequeños diques en las torrenteras, acorde en su emplazamiento con el caudal y la pendiente de la cuenca para acortar la velocidad del agua y dar tiempo a que se produzca la sedimentación de los arrastres, pero no resignándose a que éstos sean sólo producidos por la erosión de los agentes atmosféricos, sino precipitándola en las cumbres por medios mecánicos: potentes equipos

de tractores y arados de vertedera o escarificadores, según se trate de labores superficiales o profundas, seguidos de otros con palas empujadoras, remueven el suelo y le arrastran hasta el arranque de las vaguadas en espera de que descargue la lluvia y se produzca por gravedad el descenso de la tierra al valle.

Queda, después de hecho el abancalamiento de las terrazas, mejorar las características agrícolas del suelo y elegir los cultivos que se adaptan a su particular composición físico-química y biológica, pero todo entra dentro del cuadro de esta sugestiva *Bonifica* de la Volterra, donde la lucha de la técnica para defender y allanar el suelo adquiere caracteres de obra de gigantes.—ELADIO ARANDA.

## ACERCA DE LOS SUELOS COLOMBIANOS

De una carta dirigida a nuestro Director, Prof. Albareda, por el destacado colaborador de estos ANALES, Dr. Paúl Schaufelberger, desde Chinchiná (Colombia), copiamos a continuación la parte relativa al tema edáfico, por creerla de interés para los lectores de estas páginas. Dice así el Dr. Schaufelberger:

«Creo haber encontrado en Colombia el equivalente tropical del chernosiem. Este fértil suelo se forma, según algunos autores, debido a un invierno fuerte y húmedo y un verano seco. Estas condiciones no existen en el trópico, pero otros autores adscriben su formación a una roca rica en Ca y Mg y a un determinado clima. El chernosiem de Europa se halla sobre loes, y en los Estados Unidos de América del Norte se hallaron el suelo de pradera y el loes. Así es posible que este suelo sea el tipo correspondiente al clima, mientras que el chernosiem sea el suelo intrazonal de este clima cuando se forma sobre rocas ricas en Ca.

Sobre calizas, esquistos, diabasa y cenizas andesíticos, encontré en el clima semihúmedo un suelo rico en humus, de 4 a 9 por 100, con el mismo pH o algo más básico que la reacción del suelo humífero. Todos estos suelos tienen desde hace mucho tiempo fama por su gran fertilidad. Con frecuencia, tales suelos muestran, por lo general, una profundidad de hasta metro y medio. También están habitados por muchos insectos. Todo esto está conforme con el chernosiem. Pero existen también diferencias, el suelo tropical comprende todo el perfil, no es un suelo sin subsuelo, falta el horizonte con



las concreciones calcáreas y, finalmente, está cubierto por bosques o cafetales, los cuales dan muy buenas cosechas.

Pero en el clima frío y semiárido he encontrado igualmente suelos más ricos en húmus, hasta 6 por 100, y de mayor profundidad, también en ceniza volcánica del volcán Galeras, cerca de Pasto. Estos suelos tienen fama por su fertilidad, especialmente para trigo y maíz, lo mismo que el chernosiem.

También encontré el equivalente del suelo castaño, y también éste está sin horizonte de concreciones calcáreas en el subsuelo, y en la Cordillera Oriental encontré rendzina sobre caliza. Los suelos que no he encontrado en Colombia son los alcalinos sódicos, y el regur. Este último me parece algo como un *Muldenboden*, en el sentido de Vageler, sobre loes o basalto, es decir, sobre una roca cálcica; así, su fertilidad es mayor debido a una mayor humedad y al contenido de Ca, el cual aumenta en los otros climas el húmus suave y la fertilidad.

Naturalmente, hay además suelos poco desarrollados, degenerados, etc., pero creo haber encontrado los principales tipos tropicales. Naturalmente, comienzan ahora las dificultades con la literatura; porque la literatura, generalmente, no tiene en cuenta los climas tropicales húmedos. Lo que escribe Vageler del clima *wechselfeucht*, corresponde al clima semiárido; los del *immerfeucht*, al semihúmedo, con algunas observaciones de climas más húmedos. De unos 50 análisis totales de suelos tropicales y rocas madres, hay sólo dos de los climas húmedos, uno del clima semihúmedo y otro del superhúmedo; el resto corresponde a climas áridos o a lateritas.

Los factores de lluvia me han dado buenos resultados, y Mohr dice lo contrario. Desgraciadamente, Lang denominó los suelos según colores, pero éstos no permiten reconocer el tipo del clima; por lo tanto, hay suelos rojos y amarillos con todos factores de lluvia, porque el color indica la edad del suelo. También agrega Mohr, que él ha encontrado el suelo negro en el clima árido y no en el húmedo, como dice Lang. En ambos climas hay suelos oscuros, hasta negros, y Mohr piensa en el *black cotton soil*, porque su análisis corresponde a este clima. Para evitar esta dificultad, yo he cambiado los nombres de Lang, para evitar la clasificación a base de color.

El color es otro problema. Sin duda alguna, cada cambio de color indica otro suelo, pero desgraciadamente suelos del mismo color hay en diferentes climas con muy distintas propiedades. El suelo

es el producto del substrato geológico, de los organismos, del clima, del tiempo y de la zona o la altura. En las diferentes zonas hay distintos suelos, aunque el factor de lluvia es uniforme, dentro de la misma zona influye la altura. Si se estudia una región, entonces hay poca variabilidad de los factores organismo, clima y zona, las diferencias se deben a cambios de la formación geológica o a la edad del suelo. Este indica en el trópico el color del subsuelo. Así, localmente, el substrato geológico y el color tienen gran importancia, pero si se trata de diferentes climas, hay distintos suelos sobre las mismas rocas o los mismos colores.

En el clima templado se presentó el mismo problema con los suelos pardos. Para Glinka, se trata de un suelo de estepa; Sigmond y Lang, piensan en un *prairie soil*, y Ramann, en un forestal. Usando en primer término el nombre del suelo y en el segundo el color, desaparecen muchas dificultades, y lo mismo pasará con los suelos tropicales.»

## NOTAS

### LOS DOCTORES WALLACE, OGG Y ROACH, EN EL INSTITUTO

El Prof. Thomas Wallace, Director del Departamento de Agricultura y Horticultura de la Universidad de Bristol, pronunció dos conferencias los días 9 y 10 del pasado mes de mayo, en el INSTITUTO



Sir William Ogg y el Prof. Thomas Wallace, acompañados por nuestro compañero (en segundo término), Dr. Gaspar González, en la Residencia de Investigadores.

DE EDAFOLOGÍA, con los temas: «La nutrición mineral de las plantas cultivadas» y «Métodos de diagnóstico de la situación de los cultivos en cuanto a su nutrición mineral». Los días 23 y 25 del mismo mes, disertó Sir William Ogg, Director de la Estación Experimental de Rothamsted, sobre «The work of the Soil Division» y «The work of the Plant Pathology Division».

Ambos profesores han dado también conferencias en las Univer-

sidades de Zaragoza y Granada, y efectuado trabajos de campo sobre deficiencias minerales de las plantas, visitando los Centros agronómicos y la Facultad de Ciencias de Valencia y las instalaciones del Instituto de Investigaciones Agronómicas en Alcalá de Henares.

El Dr. William Arthur Roach, Jefe de la Sección de Bioquímica de la Estación Investigadora de East Malling (Inglaterra), que ya el año 49 desarrolló un curso en nuestro INSTITUTO, ha permanecido en España durante los meses de mayo y junio del corriente por un pe-



Dr. W. A. Roach.

ríodo de seis semanas, visitando, además de Madrid, Sevilla, Málaga, Granada, Motril, Murcia, Barcelona y Zaragoza, estudiando las deficiencias en oligoelementos de los cultivos principales que se efectúan en las zonas calizas de España. Asimismo, pronunció conferencias en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada y en la de Ciencias de la de Murcia, sobre «Diagnóstico y tratamiento de las deficiencias minerales de las plantas».

#### VISITA DEL PROF. VIRTANEN

Acompañado por el Prof. Albareda, el Presidente del Instituto de Investigaciones Agronómicas, Ing. Garrido, y otras personali-

dades científicas, visitó el Consejo S. de Investigaciones, y en particular y detenidamente nuestro INSTITUTO, el Premio Nóbel, destacado hombre de ciencia finlandés, Prof. I. Virtanen, el 31 de mayo último.

## REUNION DE FINAL DE CURSO

Como final del Ciclo de actos y conferencias correspondiente al curso que termina, se celebró una reunión en el INSTITUTO, con asistencia de todo el personal de la Casa e invitados especialmente los Profesores Cámara, González, Kubierna y Roach.

Primeramente, el Prof. Albareda pronunció unas palabras de saludo y glosó algunos aspectos de la investigación. A continuación, el Prof. Cámara pronunció una conferencia sobre «Conservación de los recursos naturales», cerrando el acto el Dr. García Vicente con una breve intervención en nombre de los pensionados del Instituto que han regresado últimamente del extranjero.

Por último, fué servida a los concurrentes una copa de vino español.

## OTRAS NOTAS

Dentro del ciclo «Balance de la Cultura Moderna, y Actualización de la Tradición Española», que se ha venido desarrollando a lo largo del curso en el Ateneo de Madrid, pronunció una conferencia en dicha entidad, el destacado genetista luso Prof. Antonio Cámara, Director de la Estación Agronómica Nacional de Sacavem, sobre el tema «Ruralismo peninsular».

Nuestro Vicedirector, Prof. Lorenzo Vilas, desarrolló el tema «Cómo se estudian los microbios», en el Colegio «Infanta María Teresa», de esta capital.

La becaria del INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA, Srta. María del Carmen Sánchez Calvo, ha obtenido el grado de Doctor en Ciencias (Sección Químicas), con la calificación de Sobresaliente. La tesis doctoral ha versado sobre el siguiente tema: «Estudio físico-químico y mineralógico de las rocas españolas del Silúrico y de los suelos formados sobre ellas».

La Profesora agregada a la Sección de Humus, Dra. Narcisa Martín Retortillo, se encuentra desde primeros de junio en Hamburgo, donde, pensionada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, permanecerá una temporada trabajando con el Dr. Laatsch sobre la materia orgánica del suelo.

## SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIA DEL SUELO

*Sesión del día 14 de junio de 1951*

Correspondió celebrar esta sesión en la Facultad de Farmacia, formando la presidencia, con el Decano de la misma, Prof. Casares Gil, el Prof. Albareda, y el Presidente del Instituto de Investigaciones Agronómicas, Ing. Garrido.

El Catedrático de Botánica de la Facultad de Farmacia, Prof. Rivas Goday, desarrolló una conferencia con el título «Policlimax de origen edáfico y topográfico». A continuación fueron presentadas las siguientes comunicaciones:

W. KUBIENA: Suelos relictos en España y su significación para la cubierta edáfica actual.

C. TAMÉS y M.<sup>a</sup> T. PERAL: Contribución a la diagnosis de la causa productora de la perturbación en la vegetación de la patata, llamada «bronceado».

V. ALEIXANDRE y T. FERNÁNDEZ: Influencia de los cationes de cambio sobre la actividad catalítica de las arcillas.

G. ALONSO DEL REAL: Aplicaciones y rendimientos de distintas técnicas para la recolección de microfauna del suelo.

M. MUÑOZ TABOADELA: Carácter dióctaédrico de las ilitas de los podsoles asturianos.

## BIBLIOGRAFIA

NORMAN CAREW: *Ploughman's Wisdom*.—1949. Faber and Faber Ltd. Londres, 167 págs.

En una nota bibliográfica anterior (\*), L. Vilas ha comentado agudamente las obras de Faulkner. Ya entonces decía que las ideas de este autor habían levantado una nube de comentarios, favorables o desfavorables, lo suficientemente cerrada como para oscurecer el ambiente en su alrededor.

La obra que hoy comentamos pertenece a aquellas que se enfrentan, sin concesiones, con las ideas sustentadas por el autor norteamericano. Su autor, junto con otros ensayos, dedica la mayor parte de su libro a reseñar las experiencias que ha realizado en Fiji, llegando a la conclusión de que para obtener una cosecha es ineludible el arar.

Según él, el arar es necesario para promover y mantener la evaporación, para dirigir y vigilar el desarrollo de las semillas, para promover y mantener una esponja absorbente de suelo que retenga el agua de las lluvias y, finalmente, para promover un tempero conveniente para la sementera y el desarrollo de las raíces jóvenes. Para conseguir algunos de estos beneficios recomienda Faulkner exactamente lo contrario: no arar. Pero hay algo que parece olvidar Carew: la práctica de arar puede ser conveniente para obtener una cosecha determinada, pero, ¿será esa la cosecha que se acomode mejor al suelo y contribuya a su conservación y mejora?

La obra de Faulkner tiene, *tal vez*, un defecto: generaliza a todos los suelos y lugares sus experimentos particulares. El mismo defecto se puede señalar en la obra de Carew y, en nuestra opinión, generalización por generalización, aparece mucho más lógica la «locura de Faulkner» que la «sabiduría de Carew».—J. GARCÍA VICENTE.

---

(\*) E. H. FAULKNER: *Plowman's Folly* y *A. Second Look*, por L. Vilas. ANAL. EDAF. IX: 247-248 (1950).

A. DEMOLON: *La carence phosphorique. Ses repercussions en Biologie* (Complément aux conclusions générales présentées aux «Journées du Phosphore»).—1949. Presses Universitaires de France. París. 154 págs.

Es difícil encontrar una prueba documental tan definitiva para demostrar el fundamental papel que el fósforo juega en Biología, como la encuesta que, en esta publicación, nos presenta M. Demolon, miembro de las Academias de Ciencias y Agricultura del país vecino.

Desde el comienzo de las hostilidades de la segunda guerra mundial y por la imposibilidad del transporte de fosfatos naturales del Norte de Africa, se encontraron los agricultores franceses con reducidas disponibilidades de abonos fosfatados, tan reducidas que será suficiente señalar el hecho de que durante el quinquenio 1940-45 fueron utilizados por ellos 460.000 Tm. de  $P_2O_5$  para sus tierras, cuando en el año 1938-39, es decir, en un solo año agrícola de la anterior guerra, fueron consumidas 441.000 Tm. de  $P_2O_5$ .

Esta situación tuvo unas desastrosas consecuencias, pues los contenidos del suelo en  $P_2O_5$  descendieron rapidísimamente y, con ello, se vió mermada la cantidad y calidad de los forrajes, que pronto tuvo marcadas repercusiones sobre la constitución, producción y salud de los animales. Fué, en realidad, una trágica experiencia, pero magníficamente aprovechada para realizar un estudio concienzudo de las repercusiones de la carencia fosfórica en Biología.

Los resultados de la presente encuesta son expuestos bajo un triple aspecto: las repercusiones que la carencia tuvo sobre la producción vegetal, sobre la producción e higiene de los animales y, finalmente, sobre la salud humana.

Las respuestas fueron hechas desde las más diversas profesiones: agricultores, criadores de ganado, estudiantes, maestros de enseñanza primaria, ingenieros agrícolas y agrónomos, veterinarios y médicos, respondiendo a cuestionarios que fueron presentados por las Academias de Ciencias, Agricultura, Veterinaria y Medicina, Instituto Nacional de Agronomía, Escuelas Nacionales de Agricultura, Instituto de Enseñanza Agrícola e Industrias de abonos.

Termina Demolón sacando dos importantes conclusiones: el fundamental papel del fósforo en todos los procesos biológicos, hasta poderse decir muy acertadamente que el «fósforo es la fuente misma de la vida», en primer lugar, y en segundo, señala la interdepen-



dencia que entre las diversas profesiones biológicas existe, para terminar recomendando la necesidad de seguir este estudio conjunto de los problemas que el fósforo plantea en Biología.—A. SUÁREZ Y SUÁREZ.

V. S. C. LAWRENCE y J. NEWELL: *Seed and Potting Compost*.—1950. Cuarta revisión de la octava edición. George Allen and Unwin Ltd. London.

Es un pequeño manual de bolsillo de 160 páginas, con abundancia de ilustraciones, que trata de la preparación de abonos; pero no de un modo general, sino de dos de éstos adecuados para toda suerte de plantas. Estos «compost» son el fruto de experimentos realizados en el «John Innes Horticultural Institute» de Inglaterra, para conocer las necesidades prácticas de cultivo.

Gran número de *Primulas* chinas habían crecido normalmente durante veinte años casi libres de enfermedades, hasta que en 1933 apareció una misteriosa marchitez que determinó la muerte de numerosos ejemplares. Se demostró que el agente responsable de la enfermedad era un microorganismo del suelo, y como una medida preventiva se esterilizó éste en la cosecha de 1934. La esterilización causó mala germinación de las semillas y produjo plántulas endebles, no sabiendo a qué atribuir este comportamiento inesperado del suelo. Sin embargo, pronto pudo comprobarse que la causa de este fracaso se debía al poco o ningún cuidado de las más elementales prácticas de jardinería: la preparación de las semillas y de los abonos usados en las macetas. La rutina había hecho que la fertilización se hiciese de una manera empírica, siguiendo las líneas trazadas por la tradición, prescindiendo de la base experimental y científica.

En la obra de Lawrence y Newell se exponen los resultados de las experiencias realizadas en el «John Innes Institute» con sus abonos, acompañados de unas cortas consideraciones sobre nutrición vegetal indispensables en este tipo de libros; la necesidad de los abonos compuestos; las diferentes clases que de los mismos se usan en el citado Instituto, así como la manera de prepararlos; las diversas técnicas de esterilización de aquéllos y de los suelos usados en las macetas; manera de suministrar el alimento a las plantas que

crecen en éstos; cuidados e higiene de los invernaderos, etc.—  
E. VIETEZ.

JOHN J. FINAN: *Maize in the Great Herbals*.—1950. Chonica Botanica, Waltham, Mass.

Esta obra es la historia de la introducción del maíz en Europa, reflejada en los herbarios del Renacimiento. Para llevarla a cabo su autor necesitó de la activa cooperación de un historiador en arte, de toda una escuela de botánica y de autoridades en Historia de España y en Latín medieval.

De los botánicos, Finan aprendió a conocer los caracteres morfológicos diferenciales de las plantas, y cómo éstos son alterados cuando el maíz crece fuera de los trópicos. Del historiador del arte Jonnson, aprendió a conocer las limitaciones que imponía el uso de la talla de madera en las ilustraciones. Bajo la vigilancia de expertos en lenguas fué capaz de interpretar los textos, y con la ayuda de los historiadores españoles determinó la probable extensión en que las primeras narraciones literarias del descubrimiento de América habían suministrado información a los botánicos.

Finan pudo apreciar la singular mezcla de credulidad y originalidad de los herbolarios respecto a la tradición, demostrando que éstos estuvieron tratando con dos clases de maíz diferentes. Una de éstas, la última en ser conocida por nosotros, fué importada de las islas del Mar Caribe por Colón y sus sucesores. Bien es sabido que la mayoría de las clases de maíz, al ser cambiadas desde los trópicos a zonas templadas, son profundamente afectadas por la duración del día, lo que origina ciertas anormalidades. Crecen más altas que en los países de origen; las espigas, con frecuencia, son de apariencia excesivamente foliosa y presenta raíces en varios nudos superiores, en vez de limitarse solamente a los más inferiores. La otra clase de maíz, que fué la primera en ser ilustrada y descrita por los botánicos, no mostró ninguna de estas anormalidades de crecimiento. ¿De dónde procedía? ¿Era otro tipo tropical más fácilmente aclimatado, o se había esparcido por Europa procedente de Asia, como algunos botánicos creyeron? o, ¿quizá fué traída por los escandinavos? Los dibujos de la misma demuestran que pertenecía al tipo cultivado por los indios orientales de Norteamérica; y si los escandinavos pudie-

ron haber traído maíz a Europa, lo más verosímil es que haya sido de esta misma variedad.

El maíz es una planta de tal preponderante importancia para la gente, que su historia, de marcada complejidad, es de especial significación e interés. La literatura sobre este cereal está desparrramada y fragmentada, y en su mayoría carece de ilustraciones. A partir de los cincuenta años siguientes al descubrimiento de América, y durante el siglo xvii, la planta es tratada con gran detalle en los grandes herbarios europeos. Finan enfoca el estudio de la historia del maíz, primeramente relacionándola con las conquistas hispanas, y posteriormente el maíz en los grandes herbarios de Europa.

El hecho de figurar el maíz entre las principales cosechas de los nativos del Nuevo Mundo condujo a los exploradores españoles a escribir sobre esta planta en sus crónicas. En 1526-1534, el inspector de minas Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés publicó su historia de las Indias y dedica todo un capítulo con ilustraciones al maíz, y es el primer explorador del Nuevo Mundo que describe esta planta con detalle. Descripciones posteriores se deben a Francisco López de Gomera, en 1552, y a José de Acosta, en 1590. En todas estas descripciones se indican los usos del maíz para panificación, preparación de bebidas alcohólicas o usos religiosos

La segunda parte de la obra está dedicada a la discusión del maíz en los herbarios europeos; así vemos cómo en Alemania fué estudiado por Valerius Cordus, Jacob Dietrich y Joachim Comerarius, en un período que abarca desde 1539 hasta 1561. En los Países Bajos, Rembert Dodoens (1556), Jules Charles de L'Escluse, en 1605, y Mathias de L'Obel, en 1576. En Italia ocupó la atención de Petrus Matthiolus, en 1570, y Castor Durante. De los botánicos españoles que se ocuparon de la discusión del maíz, cita a Nicolás Monardes y a Francisco Hernández, en 1569 y 1651, respectivamente. En Suiza, Gaspar y Jean Bauhin, en 1596 y 1651. En Inglaterra, Henry Lyte, en 1578; John Gerarde, en 1597, y John Parkinson, en 1640. Resultando interesante el hecho de que no haya sido discutido por ningún botánico portugués ni francés.

La obra de Finan aparece ilustrada con 25 reproducciones de dibujos de maíz de las obras de los botánicos antes citados, así como también con reproducciones de descripciones originales.—E. VIEITEZ.

E. ZANDER: *Beiträge zur Herkunftsbestimmung bei Honig*.—1949. Franz Ehrenvirth Verlag. Munchen.

El Profesor Zander, que consagró su vida al estudio de la miel bajo un aspecto tan poco cultivado como lo es el palinológico, publicó una obra de cuatro volúmenes con el título de *Beiträge zur Herkunftsbestimmung*, de la que aparecieron, respectivamente, en los años 1935, 1937 y 1940, los tres primeros. El cuarto y último volumen de su gran obra, que comentamos ahora, estuvo a punto de no aparecer a la luz pública. Las vicisitudes por que atravesó Alemania desde el año 1939, gradualmente fueron creando una cadena de dificultades, incrementadas paulatinamente, hasta el extremo de obligar Zander a retrasar su publicación hasta 1949. Indudablemente, esta obra representa un enorme esfuerzo del Profesor Zander, quien ha de haber gastado en ella sus mejores energías.

El volumen que nos ocupa constituye el complemento de los tres primeros, y está dedicado casi exclusivamente al estudio de las fuentes de néctar y ligamazas de las mieles germanas. En menor escala estudia otros posibles elementos que pueden ser hallados en dichas mieles, prescindiendo del polen, que fué estudiado con detalle en el tomo II. De estos elementos estudia minuciosamente las algas monocelulares y los hongos micromicetos, de los que da amplias descripciones e ilustra con buenos dibujos y microfotografías.

El estudio que hace de la flora maléfica es amplio y está bien hecho. Dicha flora la ordena bajo un criterio taxonómico, con consideraciones geobotánicas, estudiando el área de distribución de las especies melíficas en Alemania y en Europa, ilustrándolas con abundantes mapas de disposición geográfica.

En una menor escala, Zander también se ocupa de los caracteres químicos de las mieles de ligamaza alemanas.

Esta obra contiene 207 páginas, en las que incluye 12 tablas de características de las mieles estudiadas por su autor, y 184 láminas, que contienen hasta un total de 694 dibujos. Es un buen libro, no sólo por su indiscutible valor intrínseco, sino también porque en esta especialidad no es frecuente hallar obras tan completas.—E. VIEITEZ.

A. E. MURNEEK y R. O. WHYTE: *Vernalization and Photoperiodism*. 1948. *Chronica Botanica*.

Se trata de un «symposium» en el que se encuentran condensados todos los trabajos realizados sobre vernalización y fotoperiodicidad aparecidos a la luz hasta la fecha de publicación de esta obra. Juntamente a Murneek y Whyte aparecen los nombres de Hamer, Funke, Roberts, Struckmeyer, Allard, Sircar, etc., como autores de los diversos capítulos que componen la obra.

Los descubrimientos fundamentales en que se basa la vernalización y fotoperiodicidad son los efectos del frío sobre la germinación de las semillas y la variación de la longitud del día en las plantas maduras próximas al estado de «listas para florecer». Ambos son descubrimientos circunstanciales, que no fueron consecuencia de una serie de investigaciones sucesivas, que han inspirado una gran cantidad de experimentos que condujeron a resultados muy importantes de aplicación práctica en la agricultura y que son discutidas detalladamente en los capítulos de la obra que comentamos. En ellos puede hallarse la respuesta, o al menos conocerse el estado actual de la ciencia en las diversas naciones sobre problemas tan sugestivos como, ¿cuál es la naturaleza del cambio del estado vegetativo al estado reproductivo?, ¿se halla localizado éste en las mismas yemas, como supone el uso del concepto de hormona de floración y de las cuales las yemas serían sus receptores?, ¿o se debe a un completo cambio de las condiciones internas del metabolismo, como en el caso de la teoría del desarrollo físico? Cada uno de los puntos de vista que comentamos se halla íntimamente conexas con la vernalización y fotoperiodicidad, respectivamente. En años recientes, el Profesor Gregory y su colaboradora O. N. Purvis, del *Imperial College of Science and Technology*, de Londres, han aportado nuevos hechos que sitúan íntima relación entre la vernalización y la fotoperiodicidad, especialmente con el descubrimiento que la vernalización de los cereales—centeno, variedad Peckus—puede ser reversible, lo que supone la intervención de sustancias especiales más bien que la consumación sucesiva de las «fases» determinativas. Sin embargo, es importante destacar que los indios Sen y Chakravarti han sido incapaces de desvernalizar semillas de mostaza ni empleando elevadas temperaturas ni almacenándolas en seco por espacio de un año. Cier to es que la mostaza difiere fundamentalmente del centeno, en que

los embriones aislados pueden ser vernalizados totalmente en agua pura, mientras que los embriones de centeno necesitan de la presencia de azúcares para lograr una rápida y total vernalización. No obstante, el metabolismo que acompaña a la vernalización es digno de ser analizado, y tal análisis puede considerarse iniciado por los recientes experimentos de O. N. Purvis, quien demostró que durante un período de penuria del embrión de centeno, algunos materiales necesarios no sólo para la vernalización, sino también para el crecimiento, son formados fuera del embrión. Lang y Melchers aportan nuevas ideas en este camino trabajando con beleño negro, cuyas flores pueden ser desvernalizadas solamente si se someten a un tratamiento de diez días cortos a 38° C., siempre que se aplique dentro de los cuatro días siguientes a la vernalización por el frío. De esta manera la condición o sustancia responsable de la formación de flores es destruida antes de que pueda actuar. Otra prueba en pro del punto de vista hormonal en la vernalización, la aportan Holdsworth y Nutman al estudiar la floración del orobanche. La iniciación de las flores en esta planta coincide con el comienzo de la floración de la planta parasitada; esto supone que los receptores de la hormona de floración, cuya producción depende de la duración del día, no solamente son las yemas de la planta parasitada, sino también las del orobanche. No obstante la naturaleza de esta sustancia o sustancias hipotéticas y las condiciones bajo las cuales son producidas, todavía permanecen sumidas en la oscuridad.

Caminando a lo largo de los problemas que plantea el tema de la obra que comentamos, hallamos otras preguntas que aun no pueden responderse de una manera categórica: ¿Cómo actúan la sustancia o estímulos en la vernalización y fotoperiodicidad? Si se considera el primero de dichos procesos en las Gramíneas, el máximo ímpetu de la formación de las flores aparece como un cambio en el meristema primero. En las dicotiledóneas, los trabajos de Roberts y Struckmeyer sugieren que puede ser el meristema secundario el que determina las respuestas.

Otras preguntas son susceptibles de un inmediato ataque; por ejemplo, la naturaleza del pigmento fotorreceptor, el papel de los azúcares estudiado por Melchers, Lang y Allard, y discutido en los capítulos de Murneek y Jammer; la relación de la auxina con la producción de flores, que se enfrenta con hechos contradictorios, favoreciendo unas veces la floración y retardándola otras. La reduc-

ción de la actividad cambial que antecede a la floración en los casos estudiados por Roberts y Struckmeyer habla de un antagonismo entre la auxina y la floración, o, como muy recientemente Thurlow y Bonner y Leopold demostraron, que la aplicación externa de auxina puede reducir o anular la floración.

*Vernalization and Photoperiodism*, con sus 198 páginas y numerosas ilustraciones, constituye una interesante obra para todo el que se halle interesado, tanto en Fisiología Vegetal pura como en sus aplicaciones a la Agricultura.—E. VIEITEZ.

L. ZECHMEISTER: *Progress in chromatography (1938-1946)*.—1950. Chapman & Hall Ltd., London, XXIII + 368 págs.

El análisis cromatográfico, descubierto por el botánico ruso Tswett a principios de siglo en la ciudad de Varsovia, ha tenido y tiene hoy día una influencia enorme y siempre creciente en el avance de los más diversos aspectos de la química, en especial de la bioquímica. Tal vez no sea exagerado lo escrito por Strain: «Los adelantos atribuibles total o parcialmente a este nuevo método de adsorción cromatográfico superan con mucho, en trascendencia, las consecuencias de aquellos agitados procesos políticos que han ocurrido en la ciudad de su origen.» Premisa y consecuencia a la vez del importante papel desempeñado por la cromatografía, ha sido el gran desarrollo de ésta, sobre todo en lo que llevamos del segundo tercio del siglo. Por todo ello no ha podido ser más oportuna la idea del Profesor Zechmeister de reunir en un libro casi exhaustivo, el progreso realizado en el decenio 1938-1947. Baste decir que sólo la bibliografía de la obra ocupa más de cuarenta páginas.

El libro está dividido en dos partes: general y especial. La primera, integrada por dos capítulos (I, Principios; II, Métodos), se ocupa, entre otros, de los siguientes interesantes puntos: secuencia cromatográfica, separación de ciertos estereoisómeros, interacción entre adsorbente y adsorbato, adsorción de intercambio, normalización colorimétrica de alúmina, combinación de cromatografía y electroforesis, cromatogramas bidimensionales en papel y método de Tiselius y Claesson.

La parte especial (capítulos III-XXIII) recoge las aplicaciones de la cromatografía al estudio de los cuerpos más diversos. Los capítulos III-XXI se refieren a sustancias orgánicas, en su mayor par-

te de origen biológico, y algunas de gran actualidad, como, por ejemplo, los antibióticos. El capítulo XXII está dedicado a las aplicaciones tecnológicas (alimentos, insecticidas, etc.), y el XXIII a la cromatografía inorgánica.

Entre los trabajos recogidos en la obra que comentamos figuran bastantes del propio autor, la mayor parte en colaboración con otros investigadores. El Prof. Zechmeister es mundialmente conocido como químico orgánico, dedicado especialmente a la aplicación de la cromatografía a sustancias de interés biológico. Esto avala también el interés de este último libro suyo, que, por lo esmerado de la edición y, sobre todo, por el gran ahorro de tiempo que supone en la búsqueda de información, tendrá seguramente mucho éxito.—A. PRIETO.



## OTRAS REVISTAS DEL PATRONATO «ALONSO DE HERRERA»

*Anales de la Estación Experimental de Aula Dei.*—Publicación de la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza).

Estos «Anales», de reciente aparición, presentan anualmente el conjunto de los trabajos y estudios, publicados o no con anterioridad, que sobre temas propios de Biología Vegetal sean llevados a cabo por los miembros de este Centro. Precio del tomo anual, 30 pesetas.

*Anales del Jardín Botánico de Madrid.*—Publicación del Instituto «Antonio J. de Cavanilles».

Publica trabajos y notas científicas que abarcan todos los campos de la Botánica. Precio del tomo anual, 100 pesetas.

*Collectánea Botánica.*—Publicación del Instituto Botánico de Barcelona.

Dedicada a la Botánica en general, viene a ser un órgano exterior de la actividad del Instituto Botánico de Barcelona, elemento de enlace con los demás centros de investigación.

Publica trabajos sobre las distintas disciplinas de la Botánica Sistemática, florística, fitosociología, fisiología, micología, briología, algología, etc.

Dedica una parte a reseñas bibliográficas y a la información.

Semestral. Ejemplar, 15 pesetas. Suscripción, 25 pesetas.

*Farmacognosia.*—Publicación del Instituto «José Celestino Mutis».

Esta revista está dedicada al estudio de los problemas de Farmacognosia tal como se concibe en el momento presente, siendo sus finalidades una propiamente científica, que trata de botánica, análisis químico, experimentación fisiológica y clínica, y otra de orden práctico, relativa al cultivo y recolección de materias primas idóneas, no sólo para la Medicina, sino para la Dietética y la industria.

Trimestral. Ejemplar, 23 pesetas. Suscripción, 75 pesetas.

*Genética Ibérica.*—Publicación del Instituto «José Celestino Mutis».

Publica trabajos sobre Citología, Citogenética y Genética de los diversos materiales que constituyen el tema específico de investigación en los distintos Centros colaboradores de la revista, en España y Portugal, y los relacionados con la mejora de las especies vegetales que interesan en la Farmacognosia.

Trimestral. Ejemplar, 20 pesetas. Suscripción, 70 pesetas.

*Microbiología Española.*

En esta revista aparecen originales microbiológicos españoles y extranjeros, siendo el órgano de publicación de los trabajos leídos en las reuniones de la Sociedad de Microbiólogos Españoles y de los efectuados en el Instituto «Jaime Ferrán», de Microbiología.

Trimestral. Ejemplar, 22 pesetas. Suscripción, 80 pesetas.



---

**Precio: 20 ptas.**

