

# ANALES DE EDAFOLOGIA Y FISILOGIA VEGETAL

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Anal. Edaf. Tomo X, Número 4. Pág. 327-406. Madrid, julio-agosto 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. 4.

## SUMARIO

	<u>Páginas</u>
ALEXANDRE FERRANDIS, V. y GARCÍA VERDUCH, A.: Relaciones entre algunas propiedades físicas, químicas y técnicas de las arcillas (III).....	327
FRANZ, H.: La zoología del suelo como Ciencia auxiliar de la Edafología.....	401
Técnicas analíticas de interés biológico.....	443
INFORMACION	
NOTAS.—Expedición edafológica a Guinea.—Nuevos Colaboradores del Instituto. Pensionados.....	455
BIBLIOGRAFÍA	
JAMES BONNER: <i>Plant Biochemistry</i> (457).—E. BERNARD: <i>Nouveaux procédés simplifiés d'ensilage</i> (458).—H. H. READ: <i>Geologia</i> (459).—I. ANDERSON and N. D. ANDERSON: <i>A Dictionary of Scientific Terms</i> (460).	

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

por

VICENTE ALEIXANDRE FERRANDIS Y ANTONIO GARCIA VERDUCH

En la primera parte de este trabajo ya se inició el estudio de la plasticidad con un grupo restringido de materiales, y se expuso el método experimental (procedimiento de Rieke) junto a algunas consideraciones teóricas acerca de esta propiedad. Ahora, al contar con muestras de tipo montmorillonítico y haloisítico, hemos podido extender nuestras conclusiones a estos grupos de materiales. La determinación de materia orgánica y de geles inorgánicos y la medida de la contracción por desecación nos ha sido útil para reafirmar algunas conclusiones extraídas en el estudio anterior.

### PLASTICIDAD

Decimos que una arcilla es muy plástica cuando absorbe gran cantidad de agua para dar una pasta fácilmente moldeable y de gran resistencia mecánica. Por el contrario, los materiales poco plásticos requieren poca agua de amasadura y dan pastas difícilmente moldeables y de baja resistencia. En el primer caso, la arcilla plástica ofrece inmejorables condiciones para el moldeo, pero debido a la gran proporción de agua que contiene la masa, da una excesiva contracción en el secado y en la cochura [(Arcilla de Norah: plasticidad, 20,23; contracción por desecación = 28,74 por 100) (Arcilla de Pinell de Bray núm. 4: plasticidad, 22,83; contracción por desecación = 25,66 por 100), etc.], haciendo que las piezas se agrieten o se deformen. En el segundo caso, las arcillas poco plásticas, dan una contracción moderada [(Arcilla de Pinell de Bray núm. 7: plasticidad = 12,81; contracción por desecación = 16,99 por 100) (Tie-

TABLA NÚM. I

MUESTRA	Límite de adherencia	Límite de arrollamiento	Plasticidad	MUESTRA	Límite de adherencia	Límite de arrollamiento	Plasticidad
Caolín Lage ... ..	48,21	34,02	14,19	Aranjuez n.º 2 ... ..	46,50	27,46	19,04
Caolín Chelva ... ..	35,88	27,02	8,86	Pinell de Bay n.º 1 ... ..	42,47	20,81	21,66
Caolín, Sangrá ... ..	42,35	26,00	16,35	Pinell de Bray n.º 2 ... ..	34,58	17,78	16,80
Caolín lavado Burela ... ..	50,07	34,15	15,92	Pinell de Bray n.º 3 ... ..	24,57	11,62	12,95
Caolín bruto Burela ... ..	33,38	27,60	5,78	Pinell de Bray n.º 4 ... ..	39,08	16,25	22,83
Arcilla Burela n.º 4 ... ..	50,51	37,10	13,41	Pinell de Bray n.º 5 ... ..	30,25	15,77	14,48
Arcilla Burela n.º 7 ... ..	55,19	35,40	19,79	Pinell de Bray n.º 6 ... ..	31,48	15,77	15,71
Arcilla de Dena ... ..	49,09	31,39	17,70	Pinell de Bray n.º 7 ... ..	29,70	16,89	12,81
Carretera Logroño... ..	33,98	19,58	11,40	Pinell de Bray n.º 8 ... ..	39,87	18,62	21,25
Talavera... ..	39,91	19,87	20,04	Arcilla blanca Sangrá ... ..	44,47	23,50	20,97
Benasal ... ..	34,39	18,68	15,71	Arcilla gris Sangrá... ..	43,16	24,67	18,40
Río Cerámica ... ..	48,03	27,25	20,78	Arcilla negra Sangrá ... ..	42,74	26,63	16,11
Pinilla... ..	39,89	23,19	16,70	Sub-bentonita Bocoia ... ..	71,87	29,84	42,03
Estela ... ..	36,03	21,48	14,55	Valderrivas ... ..	33,21	18,76	14,45
Norah... ..	48,04	27,81	20,23	Arroyo Abroñigal ... ..	21,99	17,76	4,83
Aranjuez n.º 1 ... ..	47,66	25,22	22,44	Tierra de moldeo n.º 5 ... ..	23,19	16,77	6,42

rra de moldeo núm. 5: plasticidad = 6,42; contracción por desecación = 9,69 por 100), etc.], pero debido a su escasa moldeabilidad y a su baja resistencia mecánica, tampoco son aptas para la elaboración de pastas cerámicas.

De estas consideraciones podemos deducir que la plasticidad óptima para la industria cerámica hay que buscarla en una zona intermedia, tratando de corregir ambos extremos, por adición de arcilla plástica si la masa es poco moldeable, o de materiales desengrasantes, como cuarzo, etc., en el caso contrario.

En los materiales estudiados por nosotros (tabla núm. 1) hemos tenido ya oportunidad de comprobar la influencia del cuarzo libre sobre la plasticidad. Así, por ejemplo, el caolín bruto de Burela posee una plasticidad (5,78) muy inferior al mismo caolín después de lavado (15,92). La arcilla de Pinell de Bray núm. 3, de naturaleza haloisítica con bastante cuarzo libre (razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,28$ ) presenta una plasticidad de 12,95, mientras que una arcilla de la misma naturaleza, como la de Pinell de Bray núm. 1, con escasa cantidad de cuarzo libre ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,59$ ) presenta una plasticidad de 21,66. Es de advertir que las diferencias de plasticidad observadas son debidas necesariamente a la mayor o menor riqueza en minerales inertes, ya que los contenidos en materia orgánica y geles inorgánicos son prácticamente iguales en ambas muestras [Pinell de Bray núm. 3: mat. org. = 0,48 por 100; geles inorg. = 0,84 por 100] (Pinell de Bray núm. 1: mat. org. = 0,45 por 100; geles inorg. = 0,92 por 100)].

A fin de comprobar experimentalmente, por medio de mezclas, la influencia del contenido en cuarzo sobre la plasticidad, hemos determinado el comportamiento plástico de una serie de mezclas de distintas proporciones de la sub-bentonita de Bocoia y de la arcilla de Arroyo de Abroñigal, material notablemente silíceo (razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,81$ ) y hemos encontrado que la plasticidad decrece notablemente al aumentar el contenido en material cuarzoso. Los valores obtenidos aparecen en la tabla núm. 2. De ellos parece desprenderse además un comportamiento no aditivo de la plasticidad en las mezclas estudiadas (fig. 1).

A la vista del análisis mecánico (tabla 3) de las muestras en estudio podemos afirmar que no existe una relación definida entre la plasticidad y el contenido en arcilla, ni aun siquiera considerando la suma de limo y arcilla. A pesar de todo, puede observarse en algún

caso una cierta correspondencia, como ocurre con las muestras de Río Cerámica y Talavera [Río Cerámica: arcilla = 39,1 por 100;

TABLA NÚM. 2.

Arcilla de Arroyo de Abroñigal %	Sub-bentonita de Bocoía %	Plasticidad
100	0	4,83
98	2	6,40
96	4	8,25
94	6	9,95
92	8	11,77
90	10	13,48
80	20	16,75
70	30	20,33
60	40	21,46
50	50	24,66
40	60	27,84
30	70	33,14
20	80	37,91
10	90	43,21
0	100	42,03

plasticidad = 20,78) (Talavera: arcilla = 41,1 por 100; plasticidad = 20,04)] de gran contenido en arcilla y elevada plasticidad. El

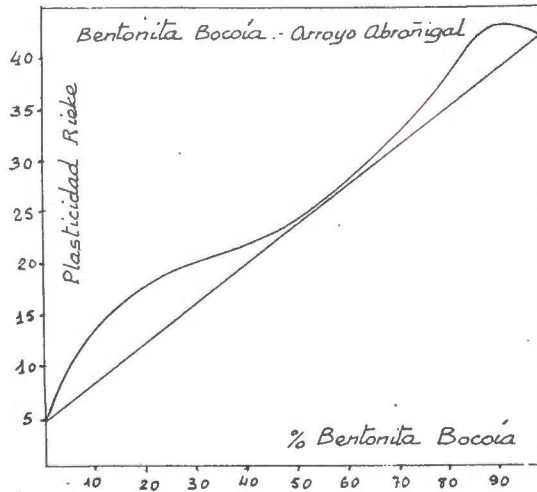


Fig. 1.

caolín bruto de Burela y la arcilla de Arroyo de Abroñigal presentan una plasticidad ínfima y un contenido en arcilla de poca considera-

ción [(Caolín bruto de Burela: arcilla = 16,4 por 100; plasticidad = 5,78) (Arroyo de Abroñigal: arcilla = 12,1 por 100; plasticidad = 4,83)]. En contraste con estos casos se encuentran las muestras de Benasal y Pinell de Bray núm. 7, de gran riqueza arcillosa y moderada plasticidad [(Benasal: arcilla = 71,8 por 100; plasticidad = 15,71) (Pinell de Bray núm. 7: arcilla = 65,7 por 100; plasticidad = 12,81)].

TABLA NÚM. 3.

MUESTRA	Plasticidad	Capacidad de cambio de bases	Arcilla %	Limo + Arcilla %	Pérdida por desecación %
Arcilla de De a ... ..	17,70	16,62	17,1	98,1	1,3
Caolín Sangrá ... ..	16,35	14,13	47,3	94,8	1,6
Caolín lavado de Burela ... ..	15,92	13,96	37,8	83,4	1,3
Caolín Lage... ..	14,19	6,45	33,2	84,9	1,4
Caolín Chelva ... ..	8,6	6,10	—	—	—
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	22,83	18,33	82,7	96,3	3,0
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	21,66	26,90	72,2	92,9	3,2
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	21,25	13,36	63,0	95,8	2,8
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	16,80	15,93	65,8	93,8	2,7
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	15,71	14,22	72,5	97,0	2,3
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	14,48	16,99	41,8	84,9	2,6
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	12,95	7,88	49,1	76,1	1,8
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	12,81	9,76	65,7	85,0	1,7
Arcilla Río Cerámica ... ..	20,78	48,84	39,1	65,4	9,9
Arcilla Norah ... ..	20,23	37,44	57,1	93,2	3,6
Arcilla Pinilla ... ..	16,70	32,16	24,9	61,6	2,6
Arcilla Estela ... ..	14,55	15,42	32,6	76,3	3,4

Por otra parte, se ha puesto de manifiesto una correspondencia entre la plasticidad y la pérdida de peso que sufren las muestras al ser calentadas a 100° C. En la tabla núm. 3 se recogen los resultados de tres grupos de muestras de distinta naturaleza mineralógica y se observa que, en general, al decrecer la plasticidad en las muestras de cada grupo, tienden también a reducirse las correspondientes pérdidas por desecación. Así, por ejemplo, la arcilla de Pinell de Bray núm. 1, de plasticidad 21,66, pierde por desecación un 3,2 por 100, y la de Pinell de Bray núm. 7, de plasticidad 12,81, sufre pérdidas de un 1,7 por 100.

Al observar los valores obtenidos por nosotros para la plasticidad de las muestras en estudio, hemos podido poner de manifiesto

la influencia que sobre esta propiedad tiene la naturaleza de los minerales que las constituyen. Así, por ejemplo, la sub-bentonita de Bocoia, de base montmorillonítica, posee una plasticidad de 42,03. Un valor tan elevado indica que los minerales de este tipo son capaces de retener en forma de film notables cantidades de agua. Las arcillas ílticas ofrecen valores para el índice de Rieke que oscilan entre 14,40 (arcilla de Logroño) hasta 22,44 (arcilla de Aranjuez número 1). El valor de la plasticidad en las arcillas de este grupo parece aumentar con la creciente riqueza en ilita. Esta suposición está apoyada por la consideración de los índices de Rieke que presentan las arcillas de Alcalá de Henares (Estela: 14,55; Pinilla: 16,70; Río Cerámica: 20,78). El contenido en ilita crece según este mismo orden.

Las arcillas haloisíticas parecen ofrecer un comportamiento plástico muy análogo al de las arcillas ílticas. Los valores del índice de plasticidad para este tipo de arcillas varía desde 14,48 (Pinell de Bray núm. 5) hasta 22,83 (Pinell de Bray núm. 4). Las arcillas de Pinell de Bray núms. 3 y 7 poseen índices de Rieke (12,95 y 12,81) algo inferiores, debido a su mayor contenido en cuarzo.

La plasticidad de los caolines es, en general, inferior a la que presentan los materiales de los grupos precedentes, y sus valores oscilan entre 5,78 (caolín bruto de Burela) hasta 17,70 (arcilla de Dena). Se observa, además, que los límites de adherencia y arrollamiento hallados para los caolines parecen ser más elevados que los de arcillas de plasticidad análoga.

Los materiales cuarzosos poseen plasticidades ínfimas, y dependen exclusivamente de los mayores o menores contenidos en minerales de la arcilla o sustancia amorfa.

Se ha observado asimismo que al disminuir la capacidad total de cambio de bases, tiende a reducirse el coeficiente de plasticidad (tabla 3). Así, por ejemplo, en los caolines, cuando la capacidad de cambio pasa de 16,62 meq/100 gr. (arcilla de Dena) a 6,10 meq/100 gramos (caolín Chelva), el índice de Rieke baja desde 17,70 hasta 8,86.

En las arcillas haloisíticas, a una capacidad de cambio de 18,33 meq/100 gr. corresponde una plasticidad de 22,83 (Pinell de Bray número 4), y al reducirse la capacidad de cambio a 9,76 meq/100 gramos (Pinell de Bray núm. 7), el índice de Rieke baja a 12,81. En las arcillas ílticas ocurre de la misma forma.

La relación existente entre el índice de plasticidad y la capaci-



dad de cambio se manifiesta claramente en el caso de los valores extremos, y se hace más dudosa al considerar los valores intermedios.

De los ensayos precedentes hemos deducido que:

1.º Al disminuir los valores del coeficiente de plasticidad, tienden también a reducirse los correspondientes límites de adherencia y arrollamiento (véase tabla 1).

2.º Los límites de adherencia y arrollamiento hallados para los caolines parecen ser más elevados que los que corresponden a arcillas de plasticidad análoga.

3.º A la vista del análisis mecánico de las muestras en estudio podemos afirmar que no existe una relación definida entre la plasticidad y el contenido en arcilla, ni aun siquiera considerando la suma de limo y arcilla. A pesar de todo, puede observarse en algún caso una cierta correspondencia, como ocurre con las muestras de Río Cerámica y Talavera, de gran contenido en arcilla y elevada plasticidad. El caolín bruto de Burela y la arcilla de Arroyo de Abroñigal presentan una plasticidad ínfima y un contenido en arcilla de poca consideración. En contraste con estos casos, se encuentran las muestras de Benasal y Pinell de Bray núm. 7, de gran riqueza arcillosa y moderada plasticidad.

4.º Se ha puesto de manifiesto una correspondencia entre la plasticidad y la pérdida de peso que sufren las muestras al ser calentadas a 100° C. Al agrupar las muestras según su naturaleza mineralógica, se observa que, en general, al decrecer la plasticidad en las muestras de cada grupo, tienden también a reducirse las correspondientes pérdidas por desecación.

5.º En materiales de naturaleza análoga, al crecer la capacidad total de cambio de bases, tiende también a crecer el índice de plasticidad de Rieke (ver tabla 3).

6.º Al observar los valores obtenidos para la plasticidad de las muestras en estudio, hemos podido poner de manifiesto la influencia que sobre esta propiedad tiene la naturaleza de los minerales que las constituyen. Los materiales de base montmorillonítica (sub-bentonita de Bocoia) poseen plasticidades muy elevadas (42,03). Las arcillas ilíticas y haloisíticas presentan índices de Rieke muy análogos y varían aproximadamente entre 13 y 23. Hemos observado asimismo, en el caso concreto de las arcillas ilíticas, que al crecer el contenido del mineral predominante, crece el valor de la plasticidad.

Los caolines, según su grado de pureza, pueden presentar coeficientes de plasticidad que oscilan entre 5 y 18.

Los materiales cuarzosos ofrecen valores extraordinariamente pequeños para la plasticidad, y dichos valores se encuentran en estrecha dependencia con el contenido en minerales de la arcilla y geles.

#### VISCOSIDAD DE LAS SUSPENSIONES Y SU VARIACIÓN POR ADICIÓN DE ELECTROLITOS

Según Maxwell, la viscosidad de una sustancia viene medida por la fuerza tangencial que debe ejercerse sobre una superficie plana unitaria horizontal, que diste la unidad de longitud del plano de otra superficie horizontal, a fin de que los dos planos se deslicen recíproca y paralelamente con velocidad unitaria, mientras que en el interespacio entre los dos planos está contenida la sustancia en cuestión. Si esta fuerza tangencial tiene el valor de 1 dina/cm<sup>2</sup>, la distancia es de 1 cm. y la velocidad es de 1 cm/seg., el valor de  $\eta$  es de 1 poise. El valor recíproco de la viscosidad, es la fluidez  $\phi$ , expresada en «rhe».

En el caso más sencillo, el gradiente de velocidad  $\frac{dv}{dy}$  se puede expresar en función de la sollicitud tangencial por unidad de superficie  $\tau$ , de la siguiente forma:

$$D = \frac{dv}{dy} = \Phi \tau \quad [1]$$

en donde  $dv$  es el incremento de velocidad de un plano con respecto a otro situado a una distancia  $dy$  y  $\phi = \frac{1}{\tau}$  es una constante.

En algunos líquidos puede comprobarse esta proporcionalidad entre  $D$  y  $\tau$ , y el factor de proporcionalidad se llama fluidez del líquido. En la práctica se emplea, sin embargo, el valor recíproco de  $\phi$ , llamado coeficiente de viscosidad.

La ecuación (1) tiene su validez limitada a los llamados líquidos newtonianos o líquidos puramente viscosos, que carecen de rigidez estructural.

En el diagrama presión-deformación de un líquido newtoniano se podría sustituir el término deformación por otro más manejable, como es el de velocidad de salida o flujo. Nos encontramos, pues,

ante dos variables: presión  $\tau$  y flujo  $D$ , ligadas por una relación lineal  $D = f(\tau)$ .

En los líquidos newtonianos, de flujo puro, a una deformación nula corresponde una presión nula también, pero, sin embargo, en algún tipo de líquidos, a una deformación nula corresponde una presión apreciable. A este esfuerzo mínimo para hacer fluir la masa a través de un capilar, se denomina límite de escurrimiento de Bingham. En este caso, una parte de la tensión tangencial se utiliza para vencer las tensiones internas elásticas hasta un máximo que corresponde al valor del indicado límite de escurrimiento  $f_n$ . Este comportamiento anómalo parece indicar que las unidades constituyentes del líquido en cuestión tienen restringidos sus grados de libertad.

Si representamos gráficamente la función  $D = f(\tau)$  para un líquido con límite de escurrimiento, tendremos una recta secante al eje de las abscisas en el punto  $f_n$ . La tangente del ángulo  $\alpha$  viene a representar la fluidez del sistema, puesto que al aumentar  $\text{tg}\alpha$ , disminuye la presión necesaria para una misma deformación. Como la fluidez es la magnitud inversa de la viscosidad, tendremos:

$$\text{tg } \alpha = \frac{b}{a} = \frac{1}{\eta}$$

siendo  $\eta$  la viscosidad en poises.

Para el punto P podremos escribir:

$$\text{tg } \alpha = \frac{D}{\tau - f_n} = \frac{1}{\eta} \quad [2]$$

puesto que si la presión  $\tau$  empleada es mayor que el límite de escurrimiento  $f_n$ , queda disponible la diferencia  $\tau - f_n$  para la deformación plástica. Despejando  $D$  en (2) resulta:

$$D = \frac{1}{\eta} (\tau - f_n)$$

que es la ecuación propuesta por Bingham y cuya validez ha sido comprobada en muchas ocasiones por investigadores de su escuela y por otros muchos. Hay que observar, no obstante, la aparición de ligeras desviaciones a esta ley para pequeñas presiones o fuerzas tangenciales, debidas posiblemente a la más clara manifestación de las fuerzas de estructura en esas circunstancias.

Un procedimiento sencillo para estudiar la variación  $D - \tau$  es el debido a Bingham y consiste, en esencia, en colocar el líquido en examen en un tubo vertical graduado, que lleva adaptado en su parte inferior un capilar. La experiencia comienza a una presión determinada por la presión hidrostática que ejerce el líquido; al fluir éste, la altura alcanzada en el tubo y, por tanto, la presión, disminuye, y el flujo—que está ligado a la presión—disminuye también. En el

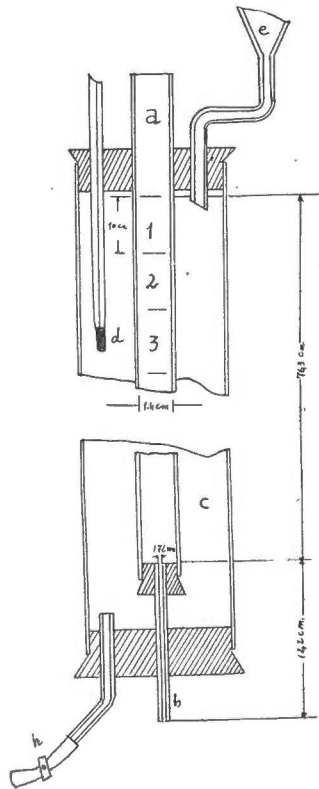


Fig. 2.

caso de líquidos no newtonianos se observa que en un momento dado el líquido deja de fluir. La presión hidrostática que corresponde a esta columna líquida inmóvil mide el llanado límite de escurrimiento de Bingham.

A continuación vamos a describir el viscosímetro de Bingham (15) (figura 2), con el cual hemos realizado nuestras medidas de viscosi-

dad en algunas muestras de arcillas y caolines empleados en la industria cerámica.

Sobre un tubo de vidrio de 90 cm. de longitud y 1,4 cm. de diámetro se han grabado once señales, de manera que entre cada dos consecutivas quede definido un volumen de 10 c. c. En la parte inferior de este tubo se adapta, por medio de un tapón de goma, un capilar de vidrio de 12,2 cm. de longitud y 1,72 mm. de diámetro. La posición del capilar ha de ser tal que su extremo superior esté a la misma altura que la raya inferior del tubo *a*.

El conjunto va montado dentro de un tubo de vidrio de forma que no sobresalga más que una parte del capilar por abajo y una parte del tubo graduado por arriba. Un termómetro colocado en el tubo exterior sirve para medir la temperatura del agua que constituye el baño termostático.

La preparación de las muestras ha sido la siguiente: Se pulveriza el material—sin tratamiento previo alguno—hasta la finura necesaria para poder pasar a través de un tamiz de 2.500 mallas/cm<sup>2</sup>, y a continuación se somete a pulverización húmeda en mortero de porcelana. Para el buen funcionamiento del viscosímetro, es conveniente utilizar suspensiones de concentraciones tales que para la máxima presión hidrostática no lleguen a rebasar el flujo de 2 cm<sup>3</sup>/seg.

Al estudiar la viscosidad de los líquidos propiamente dichos se observa que la cantidad que fluye por segundo y la presión correspondiente, llevadas a un sistema de coordenadas rectangulares, definen una recta que pasa por el origen, de acuerdo con la ley de Hagen-Poiseuille.

Al aumentar la viscosidad del líquido, disminuye el ángulo que forma la recta con el eje de las abscisas. Ahora bien, cuando se trata de suspensiones coloidales—en nuestro caso suspensiones de arcilla y caolín—, se obtienen siempre curvas más o menos acusadas, según la naturaleza del material y la concentración del mismo en la suspensión. Esta desviación es debida a la existencia de conexiones mecánicas en el interior del sistema disperso, que le dan una mayor rigidez. Para deformar esta estructura hace falta aumentar la presión que obliga al líquido a fluir por el capilar, con lo cual disminuye aparentemente la viscosidad.

La marcha general del fenómeno en sistemas coloidales podemos apreciarla en la figura 3. A presión nula, la suspensión se comporta como si su viscosidad fuese infinita. Al aumentar la presión se obli-

ga a fluir al líquido, haciendo que la viscosidad aparente disminuya. A continuación sigue una porción horizontal que corresponde al movimiento laminar y en la cual se cumple la ley de Poiseuille. Por último, cuando la presión aumenta lo suficiente para que la velocidad del líquido en el capilar se haga superior a la crítica, el líquido ad-

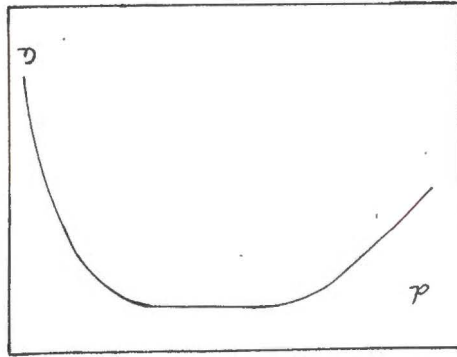


Fig. 3.

quiere movimiento turbulento, dejándose de cumplir otra vez la ley de Poiseuille.

La viscosidad queda, pues, caracterizada, según Bingham, por dos

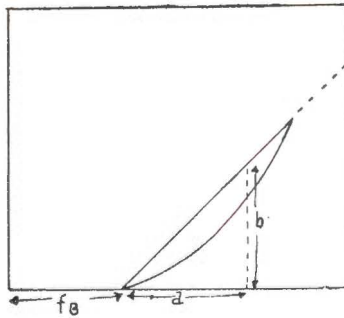


Fig. 4.

variables: presión motivadora o límite de escurrimiento  $f_n$ , y movilidad de la suspensión. La primera viene representada gráficamente por el segmento de abscisa cortado por la curva presión-flujo, y la movilidad se define como la tangente del ángulo formado por la cuerda de la curva con el eje de las abscisas, ya que cuanto más flúida o movibles es dicha masa, mayor es dicho ángulo (ver fig. 4).

Los resultados obtenidos con el viscosímetro de Bingham se representan gráficamente llevando sobre el eje de ordenadas las can-

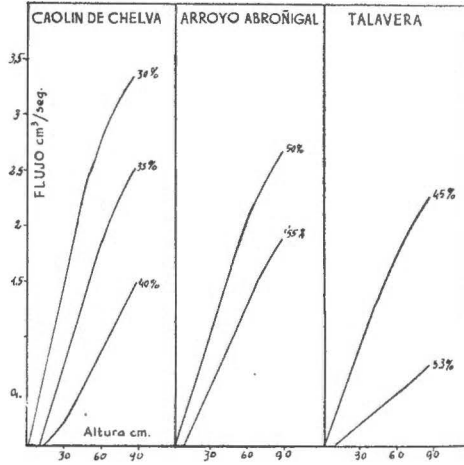


Fig. 5.

tidades flúidas en cm<sup>3</sup>/seg., y sobre el eje de abscisas la presión hi-

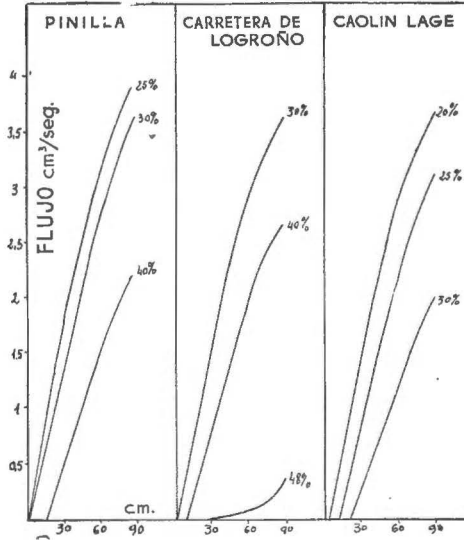


Fig. 6.

drostática media en dinas/cm<sup>2</sup>. Ordinariamente se suelen representar en las abscisas las alturas medias en cm. en vez de las presiones

calculadas, ya que las curvas obtenidas de este modo sólo difieren de las otras en que están ligeramente desplazadas.

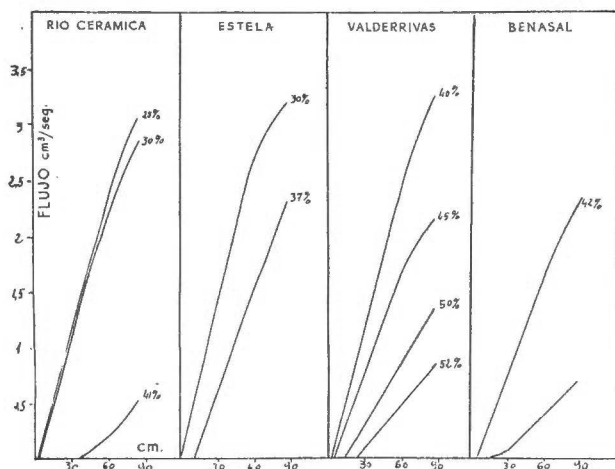


Fig. 7.

Con ayuda de un viscosímetro de Bingham hemos medido la vis-

TABLA NÚM. 4.

MUESTRA	Conc. %	$F_B$	$\beta$	MUESTRA	Conc. %	$F_B$	$\beta$
Arcilla de Río Cerámica.....	25	1,5	3,90	Arcilla de carretera de Logroño...	30	0,0	3,97
	30	2,0	3,41		40	3,0	3,22
	41	13,0	0,93		48	10,0	0,52
Arcilla de Estela..	30	0,0	3,92		Arroyo de Abroñigal.....	50	0,0
	37	3,0	2,71		55	2,5	2,27
Arcilla de Talavera.	45	0,0	2,30	Arcilla de Bena sal.	42	1,0	2,60
	53	3,5	0,79		47	5,0	0,84
Caolin de Lage....	20	1,0	4,61	Caolin de Chelva..	30	0,5	4,10
	25	4,0	3,90		35	3,0	2,88
	30	6,0	2,56		40	4,0	1,76
Arcilla de Valderrivas.....	40	0,5	3,52	Arcilla de Pinilla .	25	0,0	4,19
	45	1,5	2,37		30	0,5	4,01
	50	4,0	1,58		40	5,0	2,89
	52	8,0	1,18		—	—	—

cosidad de algunas suspensiones de arcillas y caolines a distintas concentraciones de materia seca.

En las figuras 5, 6 y 7 se representan los resultados de estas



medidas. En ellas se puede observar que las suspensiones más concentradas presentan un encorvamiento, distintamente acentuado, según la naturaleza del material. Al ir aumentando la dilución estas curvas se rectifican y se acercan al eje de ordenadas, aumentando la movilidad. También se observa que el límite de escurrimiento se hace menor (ver tabla 4).

En las suspensiones muy flúidas, se hace patente un aumento aparente de viscosidad para grandes presiones hidrostáticas, manifestado porque al llegar a una determinada presión, los flujos crecen más lentamente y la curva se inclina hacia el eje de las abscisas. A este hecho creemos que debe buscársele la explicación en un cambio de régimen en el movimiento del flúido a través del capilar, ya que

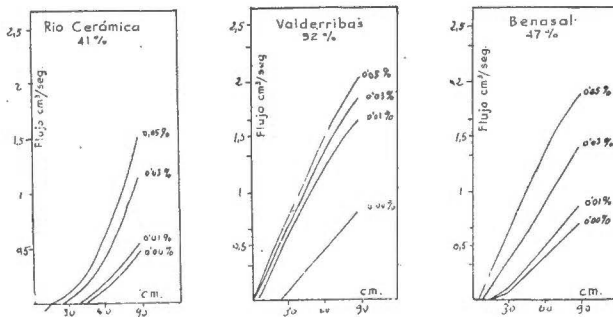


Fig. 8.

al aumentar la presión suficientemente se puede sobrepasar la velocidad crítica y alcanzarse el régimen turbulento. Esta zona de las curvas presión-flujo no deben tenerse en consideración, por carecer aún de teorías adecuadas que encuadren los fenómenos de viscosidad de estructura dentro del régimen turbulento.

Hemos estudiado también el comportamiento viscoso de algunas suspensiones arcillosas, manteniendo constante la concentración de materia seca y añadiendo distintas cantidades de un electrolito fluidificante, que en nuestro caso ha sido hidróxido sódico.

Este tipo de adiciones tiene especial interés en los procesos cerámicos de moldeo por colada, ya que hacen posible la consecución de viscosidades adecuadas de las suspensiones con mínimas cantidades de agua.

Se observa que los valores de la movilidad y del límite de escurrimiento de una suspensión arcillosa son susceptibles de modificarse

por adición de algunos electrolitos. En general, al aumentar la concentración de dichos electrolitos en la suspensión, se produce una rectificación de las curvas, que antes de la adición eran fuertemente curvadas. Al mismo tiempo crece la movilidad y disminuye el valor del límite de escurrimiento.

En la figura 8 y en la correspondiente tabla (tabla 5) exponemos el resultado de nuestras medidas en tres arcillas plásticas distintas, utilizando concentraciones óptimas para el funcionamiento del viscosímetro.

Dado el carácter coloidal de los materiales arcillosos podemos interpretar estas variaciones de la viscosidad como variaciones en el estado eléctrico del sistema.

Las partículas arcillosas, cargadas negativamente, están sujetas

Tabla Núm. 5.

NaOH ‰		0,00	0,01	0,03	0,05
Arcilla de Valderri- vas 52 ‰.....	$F_B$	8,0	2,0	0,5	0,0
	$\beta$	1,18	2,11	2,16	2,26
Arcilla de Benasal 47 ‰.....	$F_B$	8,5	8,0	2,5	1,0
	$\beta$	1,02	1,24	1,58	2,22
Arcilla de Río Cerá- mica 41 ‰.....	$F_B$	13,0	12,0	8,5	5,0
	$\beta$	0,93	1,00	1,66	1,91

a una recíproca fuerza electrostática de repulsión, que produce su estabilidad en la suspensión. La adición de electrolitos que desarrollan iones positivos (por ejemplo, un ácido), neutralizan la carga negativa de las partículas, hasta llegar al punto isoeléctrico, en el cual la sustancia pierde su estabilidad y se coagula. Si, por el contrario, se agregan electrolitos que desarrollan iones negativos, la acción de repulsión se exalta y la suspensión se vuelve más estable.

El estado de mayor o menor dispersión de una arcilla—sean cuales fueren las causas que lo determinan—influye variando la concentración de la fase sólida en el seno del dispersante, puesto que en un estado de máxima dispersión, la concentración eficaz es la correspondiente al volumen propio ocupado por las partículas, mientras que iniciada la coagulación, a este volumen propio hay que añadir el de la masa líquida inmovilizada entre las partículas, dado que en este caso dicha masa ya no funciona como líquida.

La viscosidad relativa varía con la concentración en volumen, según la fórmula:

$$\log \eta_r = K \cdot C_v^{\alpha}$$

donde  $\eta_r$  es la viscosidad relativa  $\eta/\eta_0$ , y  $K$  y  $\alpha$  son constantes.

El límite de escurrimiento de Bingham  $f_b$  también varía con la concentración, pero lo hace de la siguiente forma:

$$\log (f_b + a) = b(C_v - d)$$

donde  $C_v$  es la concentración en volumen, y  $a$ ,  $b$  y  $d$ , son constantes. Vemos, pues, que tanto la viscosidad como el límite de escurrimiento están íntimamente vinculados a la concentración y, por tanto, al grado de dispersión de la arcilla.

El estudio de los factores determinantes del estado de agregación nos llevaría a considerar las curvas de potencial de los distintos sistemas y la influencia sobre ellas de algunas variables, como concentración iónica, valencia, temperatura, constante dieléctrica del dispersante, etc. Como estos estudios se salen fuera de nuestro propósito, nos limitaremos a citar los trabajos de P. Debye y E. Hückel (5), H. C. Hamaker (9) y H. Freundlich (6), de gran interés a este respecto.

Los electrolitos que desarrollan oxhidrilos ejercen una acción fluidificante secundaria, debida al aumento de la cantidad de agua que producen en la suspensión, de acuerdo con la siguiente reacción:



Los mejores fluidificantes están en el siguiente orden: LiOH, NaOH, KOH, RbOH y CsOH. Los hidróxidos de los metales divalentes  $Ca(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$  y polivalentes no tienen prácticamente acción fluidificante, debido a su pequeño poder de disociación. Los carbonatos, generalmente, tienen una acción fluidificante 5-6 veces menor que los hidróxidos.

En los ensayos precedentes hemos observado que:

1.º En la representación gráfica flujo-presión hidrostática (o altura), las suspensiones más concentradas presentan un encorvamiento en la zona de pequeños flujos, distintamente acentuado, según la naturaleza del material. Al ir aumentando la dilución estas curvas se rectifican y se acercan al eje de ordenadas, aumentando la movilidad.

También se observa que el límite de escurrimiento se hace menor.

2.º Al estudiar el comportamiento viscoso de algunas suspensiones arcillosas, manteniendo constante la concentración de materia seca y añadiendo distintas cantidades de un electrolito fluidificante (en nuestro caso NaOH), se ha observado que al aumentar la concentración de dicho electrolito en la suspensión, se produce una rectificación de las curvas flujo-presión hidrostática. Al mismo tiempo crece la movilidad y disminuye el valor del límite de escurrimiento.

3.º Para presiones próximas a la del límite de escurrimiento se verifica un tipo especial de flujo caracterizado—además de por su lentitud—por dejar las paredes de vidrio totalmente limpias. Esta modalidad de flujo es la conocida por algunos autores con el nombre de flujo a tapón.

#### COMPORTAMIENTO TIXOTRÓPICO DE LAS SUSPENSIONES

El fenómeno de la tixotropía tiene especial interés en los materiales arcillosos, y por ello hemos creído conveniente realizar un estudio de dicha propiedad en el grupo de materiales que nos ocupan.

Muchos han sido los procedimientos que se han propuesto para la determinación de la tixotropía (10), pero la complejidad del fenómeno no ha permitido aún el establecimiento de un método totalmente satisfactorio.

Nosotros hemos realizado un tipo de medidas viscométricas de las suspensiones arcillosas con ayuda de un consistómetro de torsión, creyendo ver en la variación del límite de escurrimiento con el tiempo una imagen más o menos aproximada del comportamiento tixotrópico de las suspensiones. La rigidez de estas suspensiones, ligada a su estructura interna, es capaz de variar con el tiempo por fenómenos de ordenación espacial. La rigidez puede expresarse en unidades absolutas y, por tanto, al fijar un tiempo de reposo (por ejemplo, sesenta segundos), nos situamos en condiciones de poder apreciar, de forma cuantitativa, la distinta aptitud a la gelación tixotrópica de las suspensiones arcillosas.

En primer lugar, vamos a describir el consistómetro de torsión utilizado en nuestras medidas, así como su manejo y contraste.

El consistómetro LKB consta esencialmente de un recipiente cilíndrico que se llena con la sustancia plástica a ensayar y un cilindro metálico, suspendido por un alambre de torsión, que se introduce en

la suspensión. El cilindro móvil se fija al alambre por medio de una bayoneta de aprehensión que permite un rápido cambio; a su vez, el alambre también es fácilmente cambiabile.

La torsión del alambre se lee por medio de dos agujas que se mueven sobre escalas sexagesimales.

Las superficies cilíndricas de la vasija y de la parte móvil están estriadas según la dirección de la generatriz, a fin de eliminar el resbalamiento entre la materia plástica y las paredes. La vasija está circundada por una doble pared envolvente, por la cual circula agua a temperatura constante procedente de un termostato.

En el caso de disolventes volátiles se puede poner sobre la vasija una tapadera constituida por dos partes. Aun no tratándose de disolventes volátiles, es conveniente utilizar la tapadera porque el orificio central que hay en la misma—de diámetro ligeramente mayor que el de la espiga del cilindro—ayuda a controlar el centrado. El cilindro móvil lleva en su base inferior un pivote que se aloja en un pequeño alvéolo que hay en el centro del fondo de la vasija. Con el fin de disminuir el frotamiento entre el cilindro móvil y la vasija se recomienda la adición de una pequeña cantidad de mercurio.

Este aparato está dotado de tres alambres de torsión, de bronce fosforoso, de distintos diámetros y de un plato circular—sustituible por el cilindro interior—, dispuesto para la determinación del momento de torsión de los alambres. Se dispone, además, de tres cilindros móviles cambiabiles de distintos diámetros. Con este juego de alambres y cilindros se puede buscar la pareja más adecuada a las condiciones elásticas de la suspensión.

#### CALIBRADO DEL APARATO

Teniendo en cuenta la superficie estriada de los cilindros y de la vasija, hemos medido los diámetros máximos y mínimos y las alturas, por tratarse de datos necesarios para cálculos posteriores.

	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Vasija
d máximo (mm).....	20,042	14,985	10,017	36,250
d mínimo (mm).....	19,020	14,013	9,109	35,000
Altura (mm).....	42,960	42,960	43,102	45,365

Resulta imprescindible también calcular el momento de torsión de los alambres, ya que este valor contribuye a definir la magnitud

del par deformador que actúa sobre la sustancia colocada en la vasija. Para ello debemos hacer las siguientes consideraciones:

Si tenemos un alambre y lo sujetamos por el extremo A a un soporte fijo, y en el extremo B hacemos actuar un par de torsión  $P$  mediante un volante de radio  $a$  solidario al alambre, el momento de torsión viene dado por la expresión:

$$N = P \cdot a$$

Siendo  $\delta$  el ángulo girado,  $l$  la longitud del alambre y  $r_0^2$  el radio del mismo, se puede escribir:

$$\delta = \frac{N \cdot l}{K \cdot r_0^4}$$

donde  $N$  es el momento de torsión y  $K$  el módulo de torsión, dependiente del material que constituye el alambre.

Se puede demostrar que:

$$N = G \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\delta \cdot r_0^4}{l} \text{ y por tanto } K = \frac{\pi}{2} \cdot G$$

siendo  $G$  el llamado módulo de deslizamiento.

El momento de torsión  $N$  que le imprimimos al alambre es de signo contrario al que se produce cuando gira en libertad:

$$N = -N_e \quad [1]$$

y por tanto:

$$N_e = -G \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\delta \cdot r_0^4}{l} = -k^2 \cdot \delta \quad [2]$$

asignando a  $k^2$  el valor  $k^2 = G \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_0^4}{l}$

El movimiento del alambre, con el volante cilíndrico fijo en uno de sus extremos, viene regulado por un momento  $N_e$  que es proporcional al ángulo de giro. El caso es idéntico al de un péndulo compuesto. El cilindro efectúa oscilaciones armónicas, de modo que  $\delta$  es función sinusoidal del tiempo, y las oscilaciones son isócronas, de período:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k^2}} \quad [3]$$

Si suponemos despreciable el momento de inercia del alambre, el valor de  $I$  corresponderá íntegramente al momento de inercia del plato cilíndrico.

El período se determina experimentalmente, y el momento de inercia se calcula con facilidad para un sólido cilíndrico mediante la relación:

$$I = \frac{1}{2} M \cdot R^2 \quad [4]$$

siendo  $M$  la masa y  $R$  el radio del sólido.

Teniendo en cuenta las ecuaciones (1) y (2) podemos escribir:

$$N = k^2 \cdot \delta$$

y sustituyendo  $k^2$  por su valor en la ecuación (3) resulta:

$$N = \frac{4 \pi^2 I}{T^2} \cdot \delta$$

Si calculamos el momento de torsión para una desviación angular de 1 radián tendremos:

$$N = \frac{4 \pi^2 I}{T^2} \quad [5]$$

El momento de inercia del plato cilíndrico obtenido según (4) arroja el valor:  $I = 1783,13 \text{ gr}_m \cdot \text{cm}^2$ , y el período deducido de una larga serie de oscilaciones con los tres alambres ha resultado ser:

$$T_A = 2,50 \text{ seg.} \quad T_B = 6,96 \text{ seg.} \quad T_C = 14,86 \text{ seg.}$$

Sustituyendo estos valores de  $I$  y  $T$  en la fórmula (5), se obtiene:

$$\begin{aligned} N_A &= 11.265,9 \text{ dinas. cm.} \\ N_B &= 1.461,7 \text{ " } \\ N_C &= 318,8 \text{ " } \end{aligned}$$

#### ENSAYOS PRELIMINARES

Antes de comenzar el estudio de las suspensiones de arcilla, hemos creído conveniente realizar algunos ensayos sobre el comportamiento reológico de un líquido normal, sin viscosidad de estructura y sin límite de escurrimiento, a fin de poder contrastar con un líqui-

do simple, como el aceite de ricino, el funcionamiento del consistómetro de torsión.

TABLA NÚM. 6.

$\delta$ (grad.)	t (seg.)	$\Omega$ (grad./seg.)
3	2,3	1,3
5	3,0	1,6
10	3,8	2,6
20	4,1	4,8
30	4,5	6,6
40	4,7	8,5
50	4,9	10,2
60	5,1	11,7
70	5,3	13,2
80	5,5	14,4
90	5,6	16,0
100	5,6	17,7

Alambre B  
Cilindro A

TABLA NÚM. 7.

$\delta$ (grad.)	t (seg.)	$\Omega$ (grad./seg.)
5	7,0	0,7
10	9,0	1,1
20	11,8	1,8
30	14,0	2,1
40	14,1	2,8
50	15,2	3,3
60	16,0	3,7
70	17,2	4,1
80	18,0	4,4
90	19,0	4,7
100	19,7	5,1

Alambre C  
Cilindro A

Una vez llena la vasija del aparato con aceite de ricino hay que ensayar los alambres y cilindros hasta encontrar la pareja que sumi-

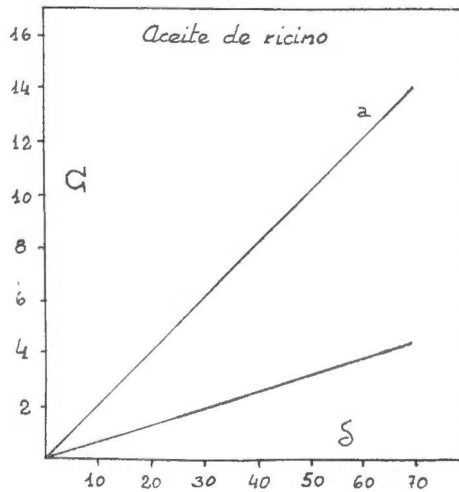


Fig. 9.

nistra las mejores condiciones de trabajo. En nuestro caso han resultado ser el alambre B y el cilindro A.

La determinación del cero del aparato para las indicadas condi-



ciones la hemos hecho dejando oscilar la aguja a derecha e izquierda del falso cero y desplazando la escala móvil hasta conseguir que las posiciones extremas de ambas oscilaciones queden simétricas respecto del cero. Estando ya fijado el cero, nos encontramos en disposición de comenzar las medidas.

TABLA NÚM. 8

$t$ (seg.)	$\delta$ (grad.)
0,5	40
0,5	25
0,5	17
0,5	7
0,5	3
0,5	2

Separamos la aguja del cero un cierto ángulo, y al dejarla en libertad comienza el cilindro un recorrido inverso, según el sentido del par de torsión, hasta llegar a alcanzar la posición inicial. Ano-

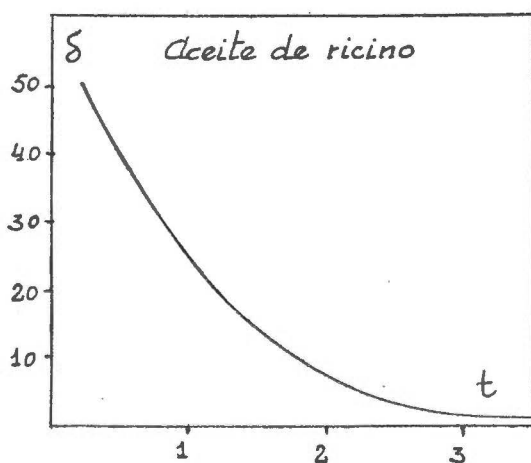


Fig. 10.

tamos el ángulo  $\delta$  y el tiempo  $t$  transcurrido en este movimiento. Separando la aguja—solidaria del cilindro—ángulos crecientes y midiendo el tiempo necesario, en cada caso, para volver al equilibrio, estaremos en condiciones de calcular la velocidad angular  $\Omega$  para cada desplazamiento.

Los valores hallados aparecen en la tabla 6. y la representación gráfica en la figura 9 a.

Variando las condiciones del aparato, en el sentido de utilizar el cilindro A y el alambre C, se obtienen los resultados expuestos en la tabla 7 (fig. 9 b).

A la vista de la figura 9, en donde el aceite de ricino ofrece para ambas condiciones de trabajo representaciones de carácter lineal sin término independiente, podemos afirmar que estamos frente a un líquido normal sin estructura ni límite de escurrimiento.

Aun cabe otro tipo de representación gráfica de estas medidas. De los datos de la tabla 6 se puede deducir que en los primeros 0,5 seg. de recorrido, la aguja sufre un desplazamiento angular de 40°; en la siguiente fracción de tiempo (0,5 seg.) recorre solamente 25°, etc. En el mismo tiempo va recorriendo ángulos menores, hasta reducirse el movimiento prácticamente a cero. En la tabla 8 se presentan los valores deducidos, y en la figura 10 se representa esta variación de la velocidad con el tiempo.

Para el caso de líquidos newtonianos, se ha obtenido una fórmula sencilla, mediante la cual, puede determinarse la viscosidad directamente:

$$\eta = \frac{N}{4\pi l} \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot \frac{\Delta \delta}{\Delta \Omega}$$

donde N momento de torsión del alambre para  $\delta = 1$  radián.

$l$  altura del cilindro.

$\Omega$  velocidad angular del cilindro interno.

$\delta$  ángulo de torsión.

$R_1$  radio del cilindro interno.

$R_2$  radio de la vasija.

Habiendo trabajado con aceite de ricino a 18° C. en el sistema alambre C y cilindro A, hemos de considerar los siguientes datos:

$N = 318,8$  dinas. cm.;  $\frac{\Delta \delta}{\Delta \Omega} = 2,85$ ;  $l = 4,30$  cm.;  $R_1 = 1,00$  cm.;  $R_2 = 1,81$  cm., que conducen a un valor para la viscosidad de:

$$\eta = 11,60 \text{ poises}$$

Este valor obtenido para la viscosidad del aceite de ricino a 18° C. concuerda perfectamente con los obtenidos por otros experimentadores y, en nuestro caso, prueba que el calibrado del viscosímetro ha sido correcto.

La técnica operatoria seguida por nosotros para el estudio del comportamiento tixotrópico de las suspensiones arcillosas ha sido la siguiente:

Se coloca en la vasija del consistómetro la suspensión arcillosa a estudiar. Se busca el cero del aparato y se desplaza la aguja—solidaria del cilindro móvil—un determinado ángulo  $\delta$ ; instantáneamente se deja en libertad y comienza un recorrido inverso hasta alcanzar su posición de equilibrio, que por tratarse de líquidos estructurales no coincide con el cero. El ángulo de equilibrio  $\varphi$  es la diferencia entre  $\delta$  y el ángulo recorrido  $\omega$ , y viene a representar la rigidez inicial del líquido inmediatamente después de su agitación. Si se sitúa la aguja en la posición límite anterior y se mantiene en reposo un tiempo  $t$ , el líquido tendrá oportunidad de orientar sus micelas y aumentar con ello su perfección estructural. Al soltar el cilindro, girará hasta alcanzar una nueva posición de equilibrio, correspondiente a un ángulo de equilibrio  $\varphi_1$  mayor que  $\varphi_0$ . La diferencia angular  $\varphi_1 - \varphi_0$  reducida a dinas/cm<sup>2</sup> (teniendo en cuenta el momento de torsión del alambre y las dimensiones de los cilindros) mide el aumento de rigidez sufrido por la suspensión en un tiempo de reposo  $t_1$ . Al aumentar el tiempo de reposo aumenta la rigidez de la suspensión, y, por tanto, el ángulo  $\varphi$  de equilibrio.

La rigidez  $G$  se calcula, según Jullander y Säverbörn (11), a partir de la fórmula:

$$G = \frac{N(R_2^2 - R_1^2)}{4\pi l \cdot R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot \frac{\delta - \omega}{\omega}$$

Llamando  $P$  al primer factor del segundo miembro resulta:

$$G = P \cdot \frac{\delta - \omega}{\omega}$$

El valor de  $P$  es calculable de una vez para todas las medidas con un sistema alambre-cilindro determinado, y en el cálculo de  $\frac{\delta - \omega}{\omega}$  es indistinto utilizar grados o radianes.

Estudiando la variación de la rigidez a lo largo de un cierto período podremos adquirir una idea bastante aproximada del comportamiento tixotrópico de una suspensión arcillosa.

Para medidas comparativas entre varios materiales se puede admitir como tiempo de reposo tipo, un minuto, y la rigidez a este

tiempo de reposo, expresada en dinas/cm<sup>2</sup>, puede constituir un índice de la aptitud a la gelación tixotrópica de los materiales arcillosos.

En la tabla 9 exponemos los valores obtenidos para la variación de la rigidez con el tiempo de reposo en un grupo de suspensiones de nuestros materiales. En dicho grupo hemos incluido representantes de caolines, arcillas y bentonitas (ver. figs. 11 a 15).

TABLA NÚM. 9.

Tiempo de reposo en seg.							Volumen de sedi- mentación	Capacidad total de cambio de bases meq./100g.
	10	20	30	60	120	180		
Rigidez dinas/cm <sup>2</sup>								
Caolín de Lage (natural 20 %)	0,42	0,58	0,72	0,83	1,05	—	13	6,45
Caolín Sangrá (natural 20 %)	0,60	1,07	1,34	1,58	1,92	—	32,5	14,13
Arcilla de Dena (natural 20%)	0,45	0,70	0,85	1,10	1,25	—	18	16,62
Arcilla de Dena (ácida 20 %)	0,08	0,16	0,19	0,25	0,31	—	27,5	—
Bentonita de Bocoia (natural 40 %) ... ..	1,14	1,49	1,84	2,36	2,71	—	14	68,43
Arcilla C. <sup>a</sup> de Logroño (natural 40 %) ... ..	1,13	1,57	2,10	2,97	3,93	—	13	17,65
Arcilla C. <sup>a</sup> de Logroño (ácida 40 %) ... ..	0,62	1,05	1,23	1,58	2,10	—	—	—
Arcilla de Estela (natural 40%)	0,98	1,65	2,28	3,90	5,47	—	10	15,42
Arcilla de Talavera (natural 40 %) ... ..	0,98	2,13	3,24	4,82	6,71	—	9	38,73
Arcilla de Norah (natural 40 %) ... ..	1,38	2,76	4,23	5,06	5,85	—	11	37,44
Arcilla de Aranjuez n.º 1 (natural 40 %) ... ..	4,40	8,85	9,98	11,19	12,41	—	13	46,87
Bentonita Geko (mejorada) (natural 5,95 %) ... ..	3,71	7,56	9,36	11,55	14,30	15,94	58	63,52
Bentonita F. W. Berk (natural 5,95 %) ... ..	1,20	3,02	9,20	35,55	90,85	118,50	100	78,66

Las suspensiones han sido preparadas a concentraciones tales que permiten la adecuada medida de la rigidez con nuestro consistómetro de torsión (caolines, 20 por 100; arcillas ílticas, 40 por 100, y bentonitas típicas, 5,95 por 100).

Se ha observado una relación bastante clara entre la capacidad total de cambio de bases y la rigidez a un minuto de reposo. Así, por ejemplo, la bentonita de Geko, de capacidad de cambio 63,52 meq/100 gr., presenta una rigidez a 1 min. de reposo de 11,55 dinas/cm<sup>2</sup>, mientras que la de Berk, de capacidad de cambio más elevada (T = 78,66 meq/100 gr.) ofrece una rigidez de 35,55 dinas/cm<sup>2</sup>.

En el caso de las arcillas ílticas se observan variaciones aná-

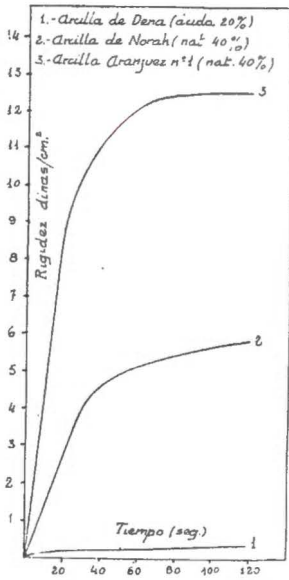


Fig. 11.

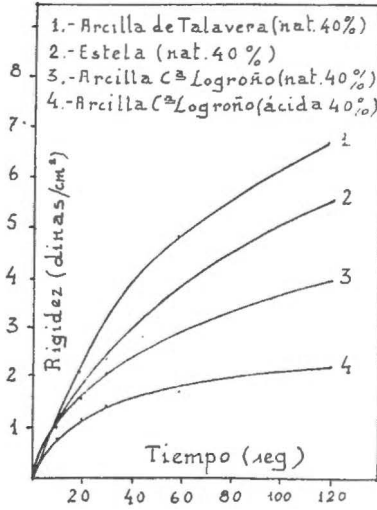


Fig. 13.

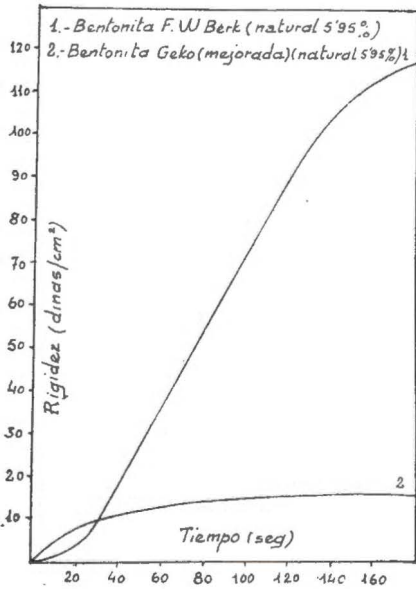


Fig. 12.

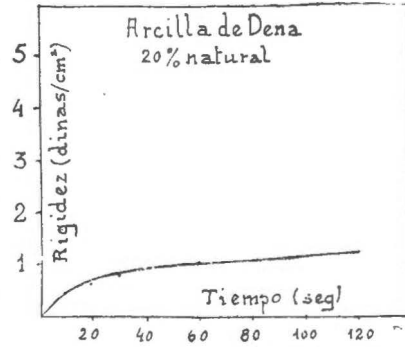


Fig. 14.

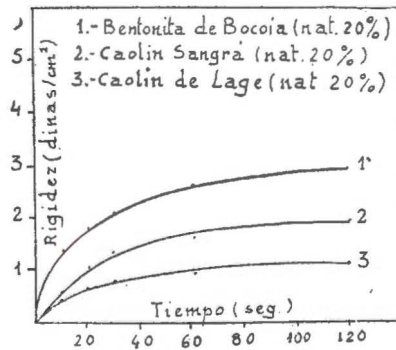


Fig. 15.

logas: la arcilla de Aranjuez núm. 1, de capacidad de cambio muy elevada (46,87 meq/100 gr.) posee una rigidez de 11,19 dinas/cm<sup>2</sup>. Al decrecer la capacidad de cambio hasta 37,44 meq/100 gr. (arcilla de Norah) desciende la rigidez hasta 5,06 dinas/cm<sup>2</sup>. La arcilla de Talavera presenta valores para la capacidad de cambio y para la rigidez muy análogos a los de la arcilla de Norah. En el caso de la arcilla de Estela, de baja capacidad de cambio (15,42 meq/100 gr.), la rigidez se reduce a 3,90 dinas/cm<sup>2</sup>.

El grupo de los caolines manifiesta un comportamiento análogo. Así, el caolín de Lage, de pequeña capacidad de cambio (6,45 meq/100 gr.) presenta escasa rigidez (0,83 dinas/cm<sup>2</sup>), y el caolín Sangrá y la arcilla de Dena, de capacidades de cambio más elevadas, poseen un comportamiento tixotrópico más acusado.

#### VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN

D. G. Beech y M. Francis (2), en un trabajo sobre propiedades y ensayos de la bentonita, utilizan un método de la Silica Products Company para la determinación de la calidad del producto, basándose en el volumen de sedimentación. El método es el siguiente:

El material desecado a 105° C. se pulveriza hasta hacerlo pasar por un tamiz de 200 mallas. Cuatro gramos de la muestra así preparada se mezclan íntimamente con 0,2 gr. de OMg, y la mezcla se agita durante una hora con 100 c. c. de agua destilada y se deja reposar en probeta graduada durante veinticuatro horas. Transcurrido este tiempo se lee el volumen ocupado por el gel.

Las bentonitas de buena calidad, en estas condiciones, son tixotrópicas, y el volumen del sedimento es superior al 50 por 100 del volumen total. En los materiales arcillosos, en general, el volumen del sedimento suele ser inferior al 10 por 100.

Los valores obtenidos por nosotros en los materiales estudiados figuran en la tabla núm. 9.

En una suspensión arcillosa recién agitada la concentración es homogénea en toda la masa, pero transcurrido un pequeño intervalo de tiempo, aparece un gradiente de concentración. Si aceptamos la validez de la fórmula de Einstein:

$$\log \eta_r = K \cdot C_v^2$$

para estos sistemas, habremos de aceptar asimismo el establecimiento de un gradiente de viscosidad.

Es evidente que la concentración en el fondo irá aumentando con el tiempo y de la misma forma crecerá la viscosidad.

En la relación de Stokes, para la caída de un sólido en el seno de un fluido, se encuentra la velocidad de caída ligada a la viscosidad del medio, y, por tanto, la velocidad de las partículas irá decreciendo hasta el nivel en que la viscosidad de la suspensión sea capaz de anularla. Por su parte, las partículas, ya en reposo, eliminadas del sistema hidrodinámico, se han orientado hasta alcanzar las posiciones más favorables desde el punto de vista energético, inmovilizando entre ellas nuevas cantidades de agua. Este aumento del volumen aparente de la fase sólida contribuye a su vez a aumentar la viscosidad de la suspensión en el nivel de las pequeñas velocidades de caída. Esta zona de tránsito se irá desplazando hacia arriba lentamente hasta alcanzar a las partículas más finas que aun se encuentran suspendidas en período de descenso. El equilibrio se logra cuando en la totalidad de las partículas se anula la velocidad de caída.

Resulta evidente que en los sistemas formados por partículas de gran actividad superficial, el volumen de agua inmovilizada por la fase sólida ha de resultar elevado y, por tanto, la concentración de sólido real necesaria para lograr la viscosidad de equilibrio es muy pequeña. De aquí se deduce que las partículas que de otro modo llegarían a bajos niveles de sedimentación, han de colocarse en posiciones más elevadas de las que corresponderían a un sistema ideal inerte arcilla-agua. Esto explica el por qué en los materiales de gran actividad superficial, el volumen de sedimentación alcanza valores tan elevados.

Como, por otra parte, la conducta tixotrópica está también ligada a la actividad superficial y a la hidrofilia de los materiales, nos parece razonable la existencia de una correlación entre ambos aspectos del equilibrio arcilla-agua.

Al estudiar los valores obtenidos por nosotros (tabla 9) para la rigidez y el volumen de sedimentación, podemos comprobar que dicha relación se cumple en la casi totalidad de los materiales estudiados. Así, por ejemplo, la bentonita de Geko, de rigidez 11,55 dinas/cm<sup>2</sup> posee un volumen de sedimentación de 58, y la de Berk, mucho más tixotropa (35,55 dinas/cm<sup>2</sup>) alcanza un volumen de sedimentación de 100.

En el grupo de las arcillas típicamente ílíticas observamos que

la más activa (Aranjuez núm. 1) presenta una rigidez de 11,19 dinas/cm<sup>2</sup> y un volumen de sedimentación de 13, mientras que las de Estela, Talavera y Norah, de rigideces comprendidas entre 4 y 5 dinas/cm<sup>2</sup> ofrecen un volumen de sedimentación comprendido entre 9 y 11.

En el caso de los caolines encontramos análogas variaciones. El caolín de Lage, de baja tixotropía (0,83 dinas/cm<sup>2</sup>) presenta un volumen de sedimentación de 13, y el caolín Sangrá, más tixótopo (1,58 dinas/cm<sup>2</sup>), alcanza un volumen de sedimentación de 32,5. La arcilla de Dena se halla comprendida entre ambos caolines.

En los ensayos precedentes hemos observado que:

1.º La variación de la rigidez con el tiempo es considerable en los primeros segundos de reposo. Este crecimiento se va haciendo más lento posteriormente (ver. figs. 11 a 15).

2.º Los caolines presentan baja tixotropía, las bentonitas muy elevada y las arcillas ofrecen valores muy variables, según su naturaleza.

3.º Las concentraciones óptimas para la medida del comportamiento tixotrópico con nuestro consistómetro de torsión han resultado ser las siguientes:

Caolines y arcillas caoliniticas.....	20 — 25 ‰
Bentonitas típicas.....	3 — 6 ‰
Arcillas ilíticas.....	30 — 40 ‰

4.º Por las medidas realizadas en dos muestras naturales y ácidas se puede comprobar la influencia que ejercen los cationes de cambio sobre la conducta tixotrópica.

5.º Entre el volumen de sedimentación y la gelación tixotrópica parece existir una cierta vinculación, fácilmente comprobable en los casos extremos, y más dudosa en los intermedios (ver tabla 9).

6.º En materiales de naturaleza análoga se observa una relación bastante clara entre el comportamiento tixotrópico y la capacidad total de cambio de bases. Véanse, como ejemplos (tabla 9) los casos: Caolín Lage y caolín Sangrá; arcillas de Estela, Norah y Aranjuez (ilíticas); bentonitas típicas de Geko y Bek (la de Bocoia es una sub-bentonita).



## D E S E C A C I Ó N

En el presente capítulo pretendemos contribuir con nuestros ensayos al esclarecimiento del secado de las arcillas, poniendo en relación el comportamiento de las muestras con su naturaleza y estructura.

Los aspectos que vamos a considerar son: Velocidad de desecación, velocidad de pérdida de agua a través de la masa (velocidad de difusión), crecimiento de la porosidad y marcha de la contracción.

Un estudio riguroso de estos fenómenos que persiguiesen la obtención de unos valores aptos para el cálculo de desecadores industriales, exigiría conocer la temperatura, humedad y velocidad de paso del aire empleado en la desecación. La elección de las condiciones de trabajo para las cámaras de desecación de las industrias cerámicas ha de tender a la consecución de:

- a) Ahorro energético en el calentamiento e impulsión del aire.
- b) Ahorro de tiempo en el proceso de la desecación.
- c) Desecación perfecta de las piezas y evitación de las deformaciones y fisuramientos.

Ahora bien, como la finalidad que nos hemos propuesto no ha sido la de estudiar las condiciones óptimas de trabajo para un material arcilloso determinado, sino la de comprobar el distinto comportamiento de un grupo de materiales cerámicos frente a unas condiciones análogas de secado, hemos elegido unos tipos de ensayos, fácilmente realizables en escala de laboratorio, que permiten poner de manifiesto, de una manera inmediata, la influencia de la constitución en la marcha de dicho proceso.

La velocidad de desecación fué ya tratada en la primera parte de este trabajo (1), y aunque ahora se ha ensayado un número mayor de materiales (tablas 10 y 11), no se han modificado en absoluto las conclusiones obtenidas inicialmente.

## VELOCIDAD DE PERDIDA DE AGUA A TRAVES DE LA MASA

La velocidad con que se desplaza el agua a través de una masa arcillosa, cuando se somete a una solicitud térmica, alcanza gran significación en el proceso de la desecación cerámica.

Según Greaves-Walker (8), el agua se mueve a través de los capilares de una pasta cerámica con una velocidad que depende de: a),

temperatura del producto; *b*), cantidad de agua contenida en la arcilla; *c*), carácter de la arcilla; *d*), tamaño de los capilares; *e*), grado de contracción (que afecta al tamaño de los capilares); y *f*), diferencia de presión de vapor entre la pasta y la atmósfera.

TABLA NÚM. 10.

MUESTRA	HORAS									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valderrivas ... ..	36,72	2,37	0,74	0,72	0,71	0,43	0,32	0,21	0,19	0,17
Río Cerámica ... ..	49,20	4,46	0,68	0,58	0,50	0,31	0,22	0,13	0,10	0,08
Estela ... ..	35,64	1,84	0,52	0,50	0,39	0,33	0,27	0,21	0,18	0,16
Pinilla ... ..	40,28	3,86	0,84	0,77	0,69	0,32	0,20	0,09	0,08	0,07
Talavera ... ..	38,10	5,00	1,07	0,85	0,70	0,42	0,32	0,26	0,19	0,12
Logroño ... ..	32,12	1,85	0,35	0,32	0,29	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
Arroyo Abroñigal ... ..	21,07	0,44	0,12	0,11	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,01
Benasal ... ..	38,66	1,01	0,83	0,65	0,60	0,26	0,20	0,18	0,16	0,15
Caolín Lage... ..	39,62	3,32	0,27	0,23	0,20	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01
Caolín Chelva ... ..	34,54	0,58	0,23	0,20	0,19	0,17	0,15	0,12	0,09	0,07
Aranjuez n.º 1 ... ..	47,66	10,59	0,85	0,78	0,70	0,67	0,58	0,43	0,30	0,22

TABLA NÚM. 11.

MUESTRA	Pérdida % 1ª hora	Pérdida % 2ª hora	PLASTICIDAD
Valderrivas ... ..	93,5	4,4	14,45
Río Cerámica... ..	60,9	7,7	20,78
Estela ... ..	94,8	3,7	14,55
Talavera ... ..	86,9	10,3	20,04
Logroño ... ..	94,2	4,6	14,10
Arroyo Abroñigal ... ..	97,9	1,5	4,83
Benasal... ..	97,3	0,5	15,71
Caolín Lage ... ..	91,6	7,7	14,19
Caolín Chelva ... ..	98,3	1,0	8,86
Aranjuez n.º 1 ... ..	77,8	20,4	22,44

Bleininger (3) sostiene que la resistencia al flujo del agua en las pastas cerámicas es inversamente proporcional a la cuarta potencia del diámetro de los canales capilares.

La dificultad de secar impunemente las piezas en verde está en íntima relación con su razón volumen/superficie, o más correctamente, agua contenida/superficie de evaporación (12), y en el caso de arcillas con elevado contenido en agua de plasticidad y mínima velocidad de difusión, esta dificultad alcanza su grado máximo

Si se trata de secar piezas de gran razón agua contenida/superficie de evaporación, se habrá de recurrir necesariamente a un pro-

ceso lento de desecación o a aumentar la velocidad de difusión del agua mediante la adición de materiales desengrasantes.

Para el ensayo de esta propiedad se ha utilizado el procedimiento de Rieke, ya descrito en otra ocasión (1).

TABLA NÚM. 12.

MUESTRA	% HUMEDAD				
	PROFUNDIDAD CM.				
	1,1	1,2	7,0	9,8	12,6
Aranjuez n.º 1 ... ..	30,57	39,50	39,61	40,11	40,99
Aranjuez n.º 2 ... ..	20,72	27,48	28,87	29,63	31,48
Caolín Sangrá ... ..	28,66	39,10	41,16	41,47	41,88
Arcilla blanca Sangrá ... ..	27,75	41,11	42,56	42,68	43,79
Arcilla gris Sangrá ... ..	33,75	41,61	42,26	42,50	42,63
Arcilla negra Sangrá ... ..	32,09	41,23	41,69	42,25	42,39
Arcilla Norah... ..	36,40	47,95	48,79	49,05	49,13
Arcilla de Dena ... ..	35,46	43,93	46,36	47,06	47,57
Caolín lavado Burela ... ..	40,78	46,17	48,76	49,54	49,61
Arcilla de Burela n.º 4 ... ..	22,02	26,95	28,65	30,24	30,46
Arcilla de Burela n.º 7 ... ..	39,59	43,48	47,04	47,27	47,30
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	38,55	45,85	48,55	49,30	50,77
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	23,68	34,67	40,34	40,35	40,50
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	12,06	31,16	32,44	33,31	33,47
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	13,62	20,51	24,16	24,19	24,40
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	22,38	37,42	37,88	38,04	38,33
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	16,09	28,42	28,57	29,71	29,76
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	16,03	20,96	23,14	28,16	28,28
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	17,23	26,81	28,04	28,30	28,74
Valderrivas ... ..	19,38	32,84	34,66	34,96	35,73
Río Cerámica ... ..	19,19	28,98	29,17	19,19	20,33
Estela ... ..	25,23	44,07	46,92	47,36	47,89
Pinilla ... ..	20,01	29,26	35,20	36,48	36,78
Talavera ... ..	23,54	34,82	36,77	38,62	38,71
Logroño ... ..	21,36	28,95	31,71	33,51	33,60
Abroñigal... ..	19,85	25,32	26,70	27,42	27,91
Benasal ... ..	7,14	9,74	10,35	10,81	11,55
Caolín Lage ... ..	23,04	30,76	31,91	33,02	34,03
	35,84	37,83	38,69	39,61	40,71

Operando de esta forma hemos llegado a los resultados expuestos en la tabla núm. 12. Llevando estos datos numéricos a un sistema de coordenadas y tomando en ordenadas los tantos por ciento de agua que contiene cada una de las cinco porciones en que se ha dividido el bastoncito de arcilla, obtenemos unas curvas crecientes al aumentar la profundidad (fig. 16). Este crecimiento es extraordinariamente rápido al principio, y después se mantiene en un margen de bastante lentitud.

En las muestras de gran plasticidad suele ser elevada la diferencia de humedad que existe entre la porción superior y la inferior, y en arcillas de baja plasticidad y gran proporción de partículas gruesas, esta diferencia se hace mucho más pequeña. Así, por ejemplo, en la arcilla de Arroyo de Abroñigal, de plasticidad muy escasa, la diferencia de humedad entre las porciones extremas es de 4,41 por 100, mientras que en la de Valderrivas, de plasticidad más elevada, esta diferencia de humedad llega a valer 10,14 por 100.

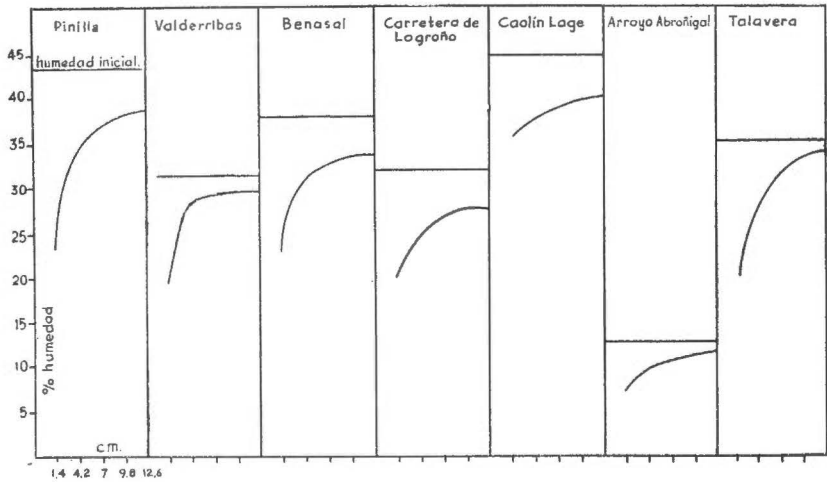


Fig. 16.

En el grupo de arcillas haloisíticas de Pinell de Bray también puede observarse alguna regularidad en este sentido. Así, las arcillas núms. 3 y 7, que son las menos plásticas, ofrecen pequeñas diferencias de humedad. Las núms. 5 y 6, de análoga plasticidad, ofrecen valores muy parecidos para las diferencias de humedad, y los números 4 y 8, de muy alta plasticidad, ofrecen valores muy altos para las diferencias de humedad.

Los caolines, generalmente, se desecan con más regularidad que las arcillas ílticas y haloisíticas estudiadas, a juzgar por las moderadas diferencias de humedad que presentan entre sus porciones superior e inferior.

Esta relación que apuntamos entre el índice de plasticidad y la velocidad de difusión del agua, parece cumplirse con cierta regularidad en los casos extremos y en grupos de análoga naturaleza,

pero en los intermedios aparecen inversiones de valores con alguna frecuencia.

#### CONTRACCION Y POROSIDAD EN EL SECADO DE LAS ARCILLAS

Puesto que en el proceso de la desecación aparecen íntimamente ligados los fenómenos de contracción y porosidad, hemos creído oportuno estudiar conjuntamente ambas propiedades, valiéndonos de una técnica experimental que nos conduce de una manera inmediata a los llamados diagramas de Bourry (7). En un diagrama de este tipo intervienen las curvas de contracción y de desecación; entre ambas queda definida el área de porosidad.

La técnica operatoria utilizada ha sido la siguiente:

Se tritura la muestra hasta hacerla pasar íntegramente a través de un tamiz de 0,6 mm., y con la arcilla así preparada se confecciona una pasta flúida o pegajosa que se vierte sobre una placa de escayola. Allí se amasa con ayuda de una espátula plana hasta conseguir que la bola así formada no se adhiera a las manos y se pueda manejar con facilidad. Se prepara un cilindro de 0,9 cm. de radio y de 2,8 centímetros de altura. Una vez hecha la probeta se determina su volumen con un volumenómetro de mercurio, consistente en una vasija cilíndrica de vidrio, de borde totalmente plano, que se llena de mercurio y se enrasa por compresión con un disco de vidrio provisto de tres vástagos de acero, terminados en pequeñas plataformas, que lo atraviesan perpendicularmente. Una vez enrasado, se coloca el volumenómetro en el interior de un cristizador, y poniendo sobre la superficie de mercurio la probeta de arcilla, se comprime apoyando sobre ella los extremos planiformes de los tres vástagos del enrasador. El mercurio desplazado cae al cristizador, y de allí se recoge cuidadosamente para pesarlo. A continuación se extrae la probeta del volumenómetro, se la desprovee, mediante una pluma de ave, de alguna gota de mercurio que pudiera quedar adherida, y se traslada a un pesa-sustancias con tapadera, para ser pesada. Después de pesada, se introduce la probeta en una estufa a 50° C. y se mantiene en desecación durante una hora, al cabo de la cual se vuelve a determinar su peso y su volumen. Esta operación se repite a lo largo de nueve o diez horas, y finalmente se verifica una desecación completa a 105° C., hasta pesada constante, y se determina el volumen aparente final.

Con los pesos y volúmenes obtenidos durante el proceso de la desecación, y con el peso específico real de la arcilla, determinado independientemente, se está en condiciones de poder calcular, en tantos por ciento de volumen, el contenido en agua de cada fase, el volumen real de la arcilla y el volumen aparente, datos éstos que conducen a los correspondientes valores de la porosidad y de la contracción que presenta la masa en cada estado de la desecación.

El agua de manufactura de la arcilla se encuentra en tres estados diferentes:

a) El agua de contracción, que es lo que pudiéramos llamar agua libre, no adscrita a ningún grano en particular. Esta agua es fácilmente deslizable entre las partículas y se pierde con relativa facilidad, ocasionando un acercamiento mutuo entre los granos que constituyen la masa arcillosa. Con la pérdida del agua en este estado se origina una notable contracción de la masa.

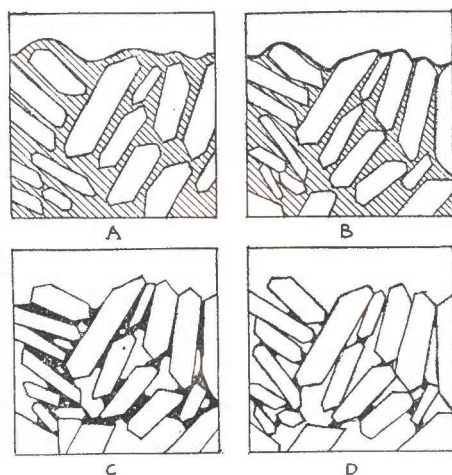
b) El agua de plasticidad, considerada como el film acuoso que recubre a las partículas. Este tipo de agua está más fuertemente retenido que el anterior, y se caracteriza por presentarse en capas cuyo espesor depende de la naturaleza mineralógica y de la actividad físico-química de la partícula, así como del número y naturaleza de los iones presentes en la solución. El contenido en agua de plasticidad es muy inferior al correspondiente del agua de contracción. La pérdida del agua de plasticidad origina una nueva contracción de la masa, pero de menor consideración que la ocurrida en la fase anterior, y además marca ya el principio de la fase de porosidad.

c) El agua de porosidad, retenida por absorción y capilaridad en el interior de los cristales o de los aglomerados cristalinos, es la más difícilmente expulsable y se pierde sin contracción sensible de la masa. La velocidad de desecación en esta fase es notablemente inferior a la observada en las fases anteriores.

En la figura 17 se exponen unos esquemas propuestos por Norton (14) que ilustran sobre el mecanismo de la pérdida de agua en los materiales arcillosos. En A, las partículas de arcilla están totalmente separadas por una película de agua que las rodea de una manera continua, incluso en la superficie. En B, la cantidad de agua ha decrecido y las partículas están en mutuo contacto, pero el film superficial todavía se extiende de una manera continua. En C, la cantidad de agua es menor. La capa acuosa superficial se ha roto y el agua retrocede en los capilares, englobando algo de aire en la estructura.

El agua se traslada a la superficie por flujo capilar o en forma de vapor. En D, la cantidad de agua ha disminuído más todavía, hasta colocarse en los puntos de unión entre las partículas, y las nuevas pérdidas que se originan han de realizarse necesariamente en forma de vapor, ya que el flujo capilar ya no tiene significación.

En los materiales estudiados por nosotros podemos poner de manifiesto los distintos tipos de agua, al considerar las curvas de contracción de los correspondientes diagramas de Bourry (figs. 18 a 27).



*Varios aspectos de la arcilla a distintos grados de desecación (según F.H. Norton)*

Fig. 17.

Al principio de la desecación se sigue una contracción rápida, debida a la pérdida del agua deslizante. A continuación se observa una zona de tránsito caracterizada por una menor inclinación, que marca la pérdida del agua de film o de plasticidad. En el caso de los caolines y de las arcillas poco plásticas, la cantidad de agua de plasticidad es insignificante y se pasa de la primera a la tercera fase en un corto intervalo de tiempo. En las arcillas muy plásticas esta transición es más visible y se realiza con cierta lentitud, debido a que el contenido en agua de film es de mayor consideración. En las bentonitas, como caso límite, resulta bastante difícil separar la duración de cada uno de los tres procesos, ya que se suceden con ab-

solita continuidad. En este tipo de materiales, el contenido en agua de contracción y de plasticidad es notablemente elevado.

En general, se observa que en los materiales plásticos predomina la contracción sobre la porosidad, mientras que en los poco plásticos ocurre lo contrario. La bentonita de Bocoia, a las nueve horas de desecación se ha contraído un 42,66 por 100, y su porosidad sólo alcanza un 12,09 por 100, y, sin embargo, el caolín Sangrá, en el mismo tiempo de desecación sólo ha sufrido una contracción de un 15,84 por 100 y su porosidad llega a 33,40 por 100. Las arcillas iliticas presentan un comportamiento intermedio entre las bentonitas y los cao-

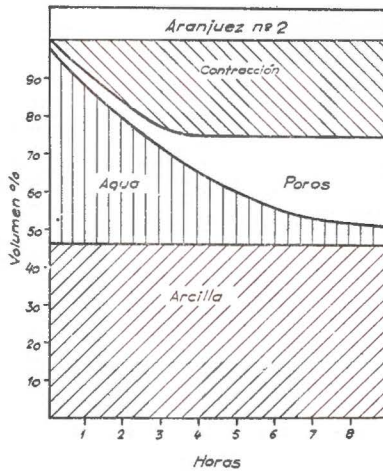


Fig. 18.

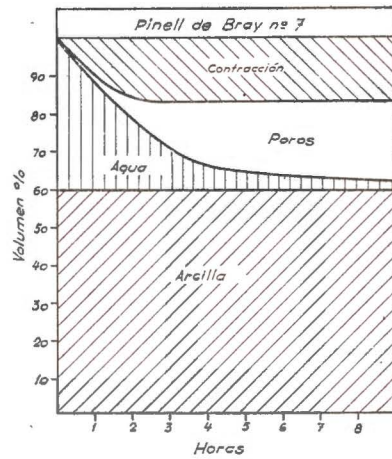


Fig. 19.

lines, según hemos podido comprobar en las muestras estudiadas por nosotros.

El volumen total de agua de manufactura también se encuentra relacionado con el comportamiento plástico de la arcilla. La arcilla de Pinell de Bray núm. 7, de índice de plasticidad de Rieke 12,81, posee 39,49 por 100 de agua de fabricación, mientras que la arcilla de Norah, de plasticidad 20,23, posee 53,84 por 100 de agua de manufactura.

La porosidad inicial de la arcilla en verde viene a significar el contenido total de aire de amasadura, englobado capilarmente o en minúsculas burbujas durante el proceso del amasado.

La suma del agua de plasticidad, más el agua de porosidad, deducida de los diagramas de Bourry, al considerar la marcha de la con-



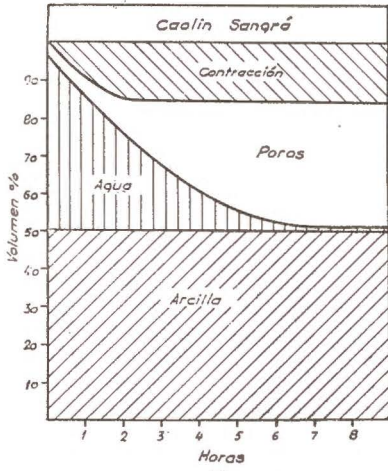


Fig. 20.

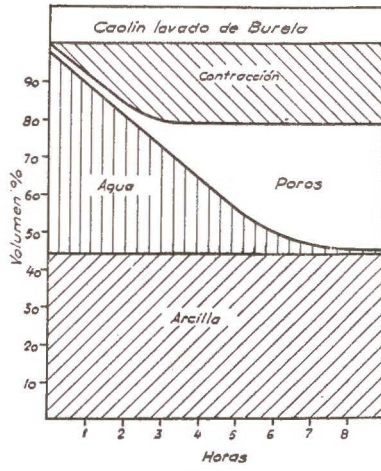


Fig. 21.

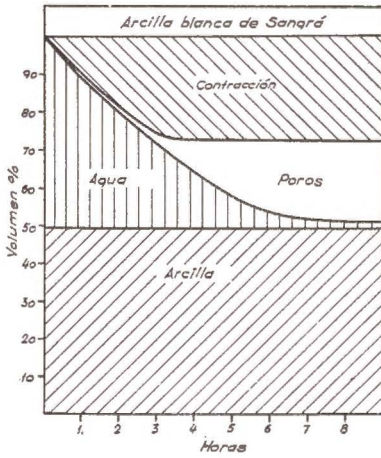


Fig. 22.

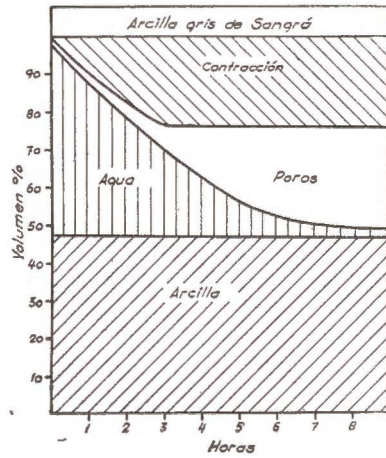


Fig. 23.

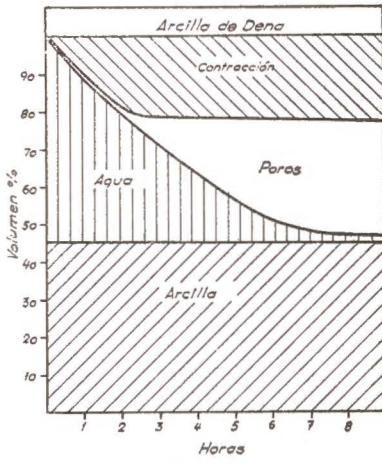


Fig. 24.

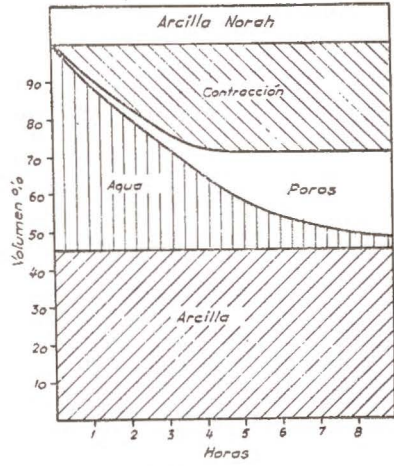


Fig. 25.

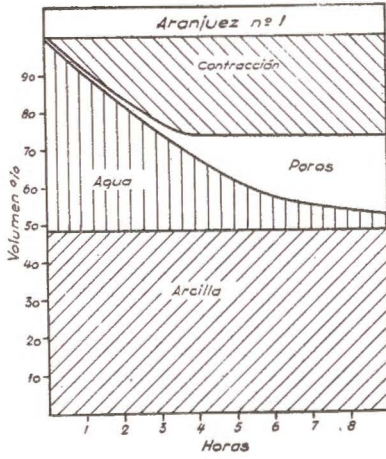


Fig. 26.

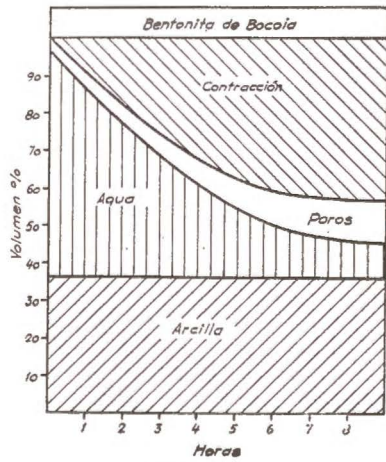


Fig. 27.

TABLA NÚM. 13.

MUESTRA	Agua de plasticidad + Agua de porosidad % peso	Limite de arrollamiento % peso	Plasticidad Rieke	Limite de adherencia % peso	Agua libre contenida % peso	Agua libre calculada para el limite de adherencia % peso	Contracción observada % volumen	Contracción calculada para el limite de adherencia % volumen
Arcilla de Dena... ..	29	31,39	17,70	49,09	16,33	20,75	22,80	27,80
Pinell de Bray n.º 7 ...	18	16,89	12,81	29,70	6,47	11,29	16,99	24,40
Caolín Sangrá ... ..	26	26,00	16,35	42,35	7,34	16,22	16,07	26,28
Arcilla Norah ... ..	26	27,81	20,23	48,04	18,04	22,12	28,74	33,20
Arcilla blanca Sangrá...	22	23,50	20,97	44,47	17,81	22,23	27,31	32,60
Arcilla gris Sangrá ...	22	24,67	18,49	43,16	17,02	21,63	23,29	28,75
Aranjuez n.º 1... ..	26	25,22	22,44	47,66	12,45	21,72	26,85	38,50
Aranjuez n.º 2... ..	26	27,46	19,04	45,50	12,72	20,46	25,29	34,95
Caolín lavado Burela ...	34	34,15	15,92	50,07	10,59	16,28	21,23	27,20

tracción, ofrece unos valores del mismo orden que los contenidos de agua en el límite de arrollamiento, según la concepción de Rieke (ver tabla 13). Esto pone de manifiesto que *el estado de desmigajamiento*

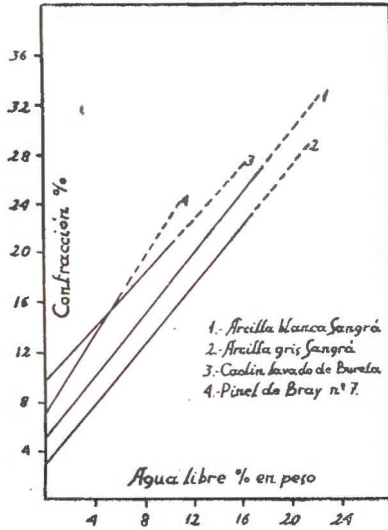


Fig. 28.

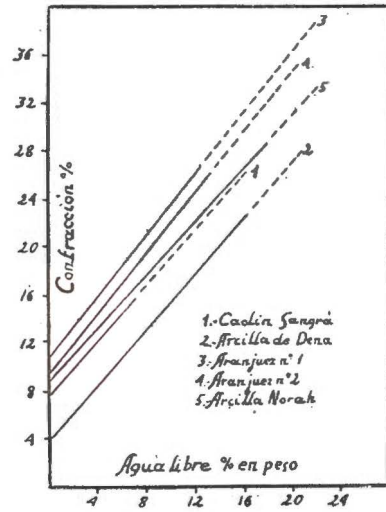


Fig. 29.

se alcanza cuando el contenido en humedad no rebasa el valor dado para la suma de agua de film y agua de porosidad. De aquí se de-

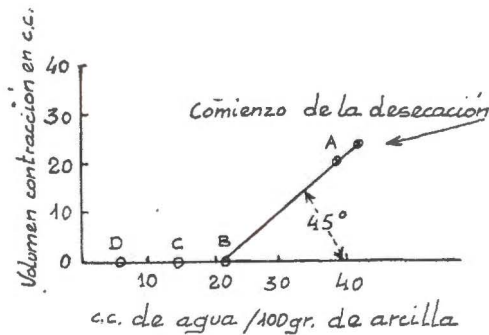


Fig. 30.

duce que *el índice de plasticidad de Rieke significa el máximo contenido de agua deslizante (o de contracción) que puede soportar una masa arcillosa sin llegar al estado de pegajosidad*, y este valor depende, como es natural, de la constitución de la arcilla y de su estado

granular. En apoyo de esta hipótesis está el hecho de que las contracciones mínimas corresponden a los pequeños índices de plasticidad, y viceversa, según puede verse en la tabla 13.

Si representamos en un sistema de coordenadas rectangulares la variación de la contracción por desecación con el contenido en agua libre de una masa arcillosa, observaremos que el fenómeno se realiza según una ley lineal. La ordenada en el origen (figs. 28 y 29) viene a significar la contracción debida a la pérdida del agua de film y de porosidad. El coeficiente angular representa el efecto contractor producido por la pérdida del agua deslizante.

Según Norton (14), si se representa gráficamente la variación del volumen de contracción y el volumen de agua en la arcilla (figura 30), se obtiene una línea recta con una inclinación de  $45^\circ$ . En otras palabras, el volumen de contracción es exactamente igual al volumen de agua perdido en la desecación hasta el punto crítico en que las partículas toman contacto.

En nuestro caso, obtenemos rectas con ángulos bastante próximos a los  $45^\circ$ . Las pequeñas variaciones observadas en el coeficiente angular pueden explicarse por razonamientos sobre la constitución compleja de la arcilla, admitiendo que lo que llamamos agua libre puede estar más o menos influenciada por el conjunto micelar. Una de las posibles causas de esta influencia podría ser la ordenación que producen los puntos activos de la red sobre las moléculas de agua que la rodean. Esta ordenación viene forzada por las exigencias geométricas de la superficie activa del cristal y puede provocar un efecto de disminución sobre la densidad de las capas líquidas adyacentes.

Por otra parte, en la representación de Norton se pasa bruscamente del período de contracción al de porosidad. Este hecho, que puede tener significación en materiales de poca actividad superficial y que no contengan agua interlaminar, no se cumplen en la mayoría de los materiales arcillosos, y mucho menos en las bentonitas, que, según hemos demostrado experimentalmente, pasan de la primera a la tercera fase de una forma lenta e insensible.

Cuando se trata de preparar una pasta arcillosa en el límite de adherencia para la determinación de su contracción por desecación, se tropieza con serios inconvenientes de orden experimental, sobre todo en lo referente a la preparación de la probeta y la subsiguiente determinación de su volumen, a causa de que su estado semiadherente

dificulta la manipulación. Hay que operar, pues, con estados inferiores de humedad. Esto tiene el inconveniente de que, para el estudio comparativo de distintas pastas, no se puede situar la humedad inicial en ningún estado característico, y se da lugar a un margen considerable de error en la determinación de la contracción por desecación, debido a la falta de regularidad en la fijación de la humedad de partida, que, como hemos demostrado, influye notablemente sobre el valor final de la contracción.

La solución de este problema la hemos encontrado en la representación gráfica del sistema contracción-contenido en agua libre, que nos permite, operando con humedades inferiores a la del límite de adherencia (y, por tanto, de fácil manipulación), llegar a calcular la contracción que sufriría la masa en el límite de adherencia. Al

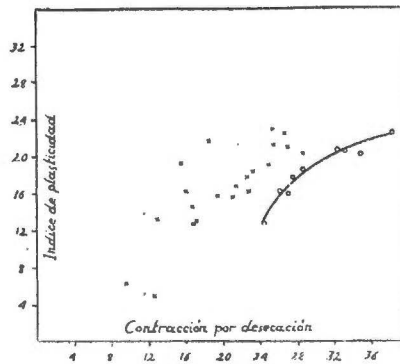


Fig. 31.

referir la contracción de todas las pastas a la humedad fijada por un límite característico, como es el de adherencia, conseguimos librarnos de las causas de error a que antes hemos hecho alusión. En la gráfica núm. 31 representamos los valores correspondientes al índice de plasticidad y a la contracción por desecación. Los puntos señalados con cruz corresponden a la contracción *observada* en una serie de pastas preparadas con cantidades de agua suficientes para permitir una fácil manipulación, pero inferiores al límite de adherencia (tabla 14). Se observa, en líneas generales, que la contracción aumenta con la plasticidad, pero la dispersión de la nube de puntos experimentales es extraordinariamente grande. Los puntos señalados con círculo corresponden a la contracción *calculada* (o corregida) para el límite de adherencia de un reducido número de pastas. En

este caso, la correspondencia parece ser mayor y los puntos experimentales se encuentran sensiblemente alineados en una rama de parábola.

En los ensayos precedentes hemos observado que:

1.º La velocidad de desecación aparece estrechamente relacionada con la naturaleza de las arcillas.

2.º En la primera hora de desecación a 105º pierden las arcillas un 70-90 por 100 del contenido inicial de agua. La velocidad de de-

TABLA NÚM. 14.

MUESTRA	Humedad inicial en peso %	Porosidad %	Contracción por desecación %
Arcilla de Dena ... ..	44,67	31,79	22,80
Bentonita de Bocoia... ..	62,07	20,17	43,68
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	24,88	23,24	10,99
Caolín Sangrá ... ..	33,47	33,47	16,07
Arcilla blanca Sangrá ... ..	40,05	23,56	27,31
Arcilla gris Sangrá ... ..	38,54	29,16	23,29
Aranjuez n.º 1 ... ..	38,39	24,52	26,85
Aranjuez n.º 2 ... ..	38,76	28,27	25,29
Norah ... ..	43,96	26,04	28,74
Caolín lavado Burela ... ..	44,57	34,62	21,23
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	28,12	26,68	18,52
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	26,93	20,22	21,66
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	20,57	21,12	17,29
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	32,47	23,57	25,66
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	32,88	23,63	16,84
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	25,09	21,38	19,64
Pinell de B ay n.º 8 ... ..	39,95	22,28	25,74
Arcilla negra Sangrá ... ..	39,26	29,60	22,92
Arcilla Burela n.º 4... ..	40,99	40,87	13,03
Arcilla Burela n.º 7... ..	44,38	39,92	15,65
Caolín bruto Burela... ..	27,14	29,81	12,76
Tierra moldeo n.º 5... ..	17,67	24,78	9,69

secación es extraordinariamente intensa en la primera hora para las masas poco plásticas, y moderada para las altamente plásticas. En la segunda hora se invierte el orden de velocidades.

3.º La velocidad de difusión del agua, experimentada por el procedimiento de Rieke, se encuentra vinculada con el índice de plasticidad, en el sentido de que a elevados índices de plasticidad corresponden pequeñas velocidades de difusión, y viceversa. Los valores límites aparecen claramente situados, pero en el grupo de valores intermedios se dan algunos casos de permutación de términos.

4.º El agua de manufactura de las arcillas se encuentra en tres estados: agua libre, agua de film y agua de porosidad. El agua libre se pierde, originando gran contracción de la masa. Al perderse el agua de film la masa sufre una contracción moderada y aparecen ya los primeros poros. El agua de porosidad se elimina con contracción casi nula y su efecto preponderante es la producción de poros. El tránsito de la primera a la tercera fase es bastante brusco en los materiales poco plásticos, debido a su pequeño contenido en agua de film; en las arcillas plásticas, y en las bentonitas, como caso límite, ocurre lo contrario.

5.º En los materiales plásticos predomina la contracción sobre la porosidad, mientras que en los poco plásticos ocurre lo contrario.

6.º La contracción por desecación crece en el siguiente orden: caolines, arcillas ílticas y arcillas montmorilloníticas. La porosidad sigue una marcha opuesta.

7.º El estado de desmigajamiento se alcanza cuando el contenido en humedad no rebasa el valor dado para la suma de agua de film y agua de porosidad.

8.º El índice de plasticidad de Rieke significa el máximo contenido en agua libre que puede soportar una masa arcillosa sin llegar al estado de pegajosidad.

9.º El agua libre se pierde linealmente, de forma que el volumen de contracción es igual al volumen del agua libre eliminada. Se encuentran pequeñas desviaciones a esta ley, explicables quizá por variaciones de densidad del agua, producidas por la influencia de la superficie activa de la red cristalina sobre la ordenación de las moléculas de agua.

10. Al representar gráficamente la variación de la contracción con el contenido en agua libre se ha visto la posibilidad de determinar por extrapolación la contracción que sufriría una masa arcillosa a un contenido determinado de agua libre.

#### CONTRACCIÓN POR CALCINACIÓN

Desde el punto de vista técnico, el conocimiento del régimen de dilataciones y contracciones de los materiales cerámicos alcanza realmente una gran significación y constituye un apoyo valioso para realizar el ajuste de las condiciones de la coadura.

Las medidas realizadas por nosotros podemos agruparlas en dos series. En primer lugar elegimos un grupo de muestras de distinta



TABLA NÚM. 15.

Contracción por calcinación

Expresado en % y referida al volumen de la probeta desecada a 100 °C

MUESTRA	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	900°	910°	950°	980°	1000°	1040°	1100°	1140°	1300°	1240°
Finell de Bray n.º 1 ... ..	0,51	0,14	0,60	1,29	1,34	2,02	2,40	5,16				23,11	21,84		23,59		
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	0,52	0,33	0,64	1,44	1,31	1,84	2,17	4,77				17,19	17,23		17,74		
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	0,24	0,13	0,17	0,54	0,39	0,44	0,62	0,19		2,87			3,64		3,74		
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	0,72	0,65	0,66	1,48	1,59	2,29	2,65	5,91				21,87	20,47		22,98		
Finell de Bray n.º 5 ... ..	0,30	0,27	0,42	1,26	1,61	2,15	2,46	5,27		13,11			14,14		15,13		
Finell de Bray n.º 6 ... ..	0,26	0,29	0,47	0,96	1,66	2,43	2,71	5,82		15,79			17,16		18,85		
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	0,16	0,19	0,31	0,60	1,41	1,89	1,99	4,7				16,02	16,13		15,99		
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	0,32	0,22	0,41	1,10	0,92	1,51	1,62	4,39		14,55			16,47		19,38		
Norali ... ..	0,24	0,43	0,75	1,01	1,09	1,39	3,47	16,09	16,29		24,68						
Aranjuez n.º 1 ... ..	0,31	0,45	0,72	0,77	0,43	0,68	7,09	16,84	17,38		25,76						
Aranjuez n.º 2 ... ..	0,36	0,39	0,83	1,23	1,24	1,91	13,01	26,22	28,30		25,72						
Arcilla blanca Sangrá ... ..	0,31	0,44	0,80	2,44	3,49	4,63	5,29	11,14				31,39	27,31	29,03			
Arcilla gris Sangrá ... ..	0,31	0,33	0,76	2,57	4,07	5,38	6,26	12,03				33,92	30,39	32,55			
Arcilla negra Sangrá ... ..	0,42	0,60	0,98	3,09	5,17	6,63	7,79	15,15				37,75	37,77	36,05			
Caolín Sangrá ... ..	0,03	0,09	0,03	1,17	2,35	3,10	3,56	5,13				7,28		9,83		16,47	26,72
Caolín lavado de Burela ...	0,12	0,19	0,27	1,80	1,56	1,95	2,30	5,63				6,37		10,54		17,18	32,45
Caolín bruto de Burela ...	0,06	0,15	0,13	0,02	1,42	1,60	1,65	0,12				0,21		2,07		4,61	15,50
Arcilla de Burela n.º 4 ...	0,16	0,19	0,31	1,74	1,39	1,59	2,00	5,03				6,49		11,98		25,65	42,42
Arcilla de Burela n.º 7 ...	0,09	0,20	0,23	1,80	1,49	1,84	2,32	4,96				6,79		13,04		25,30	42,72
Arcilla de Dena ... ..	0,04	0,21	0,46	2,16	2,20	2,64	3,29	6,92				13,48		27,58		27,97	
Tierra de moldeo n.º 5 ...	0,12	0,08	0,06	0,04	1,01	1,45	1,85	2,26				1,96		1,44		1,26	1,70
Bentcnita de Beccoa ... ..	1,55	1,80	2,17	2,24	2,20	2,31	6,13	3,93	4,45		3,47						

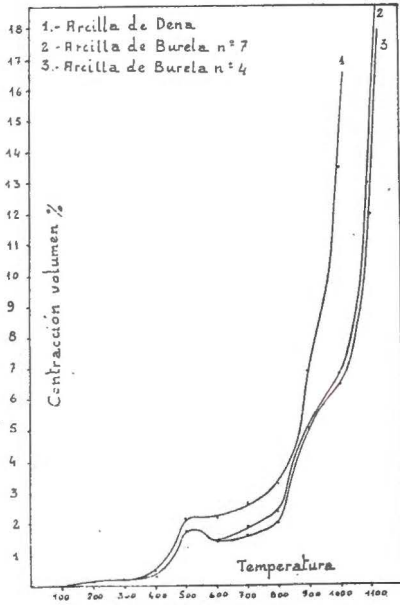


Fig. 32.

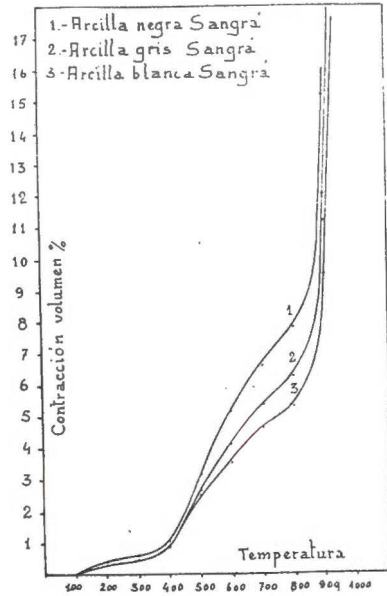


Fig. 33.

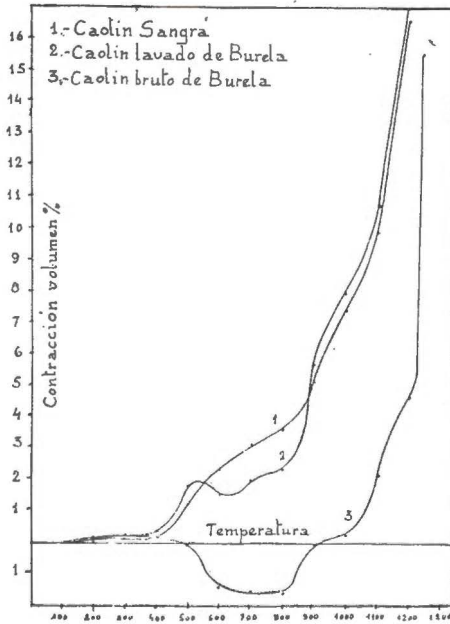


Fig. 34.

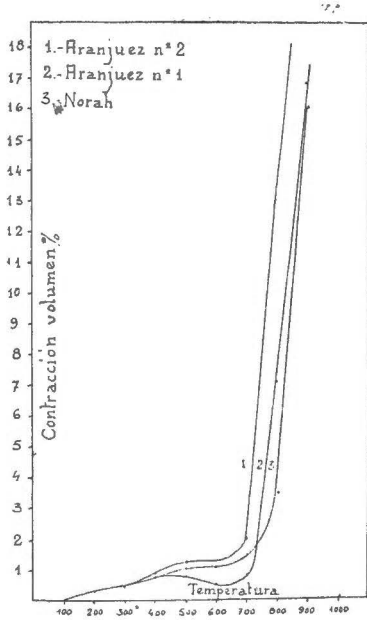


Fig. 35.

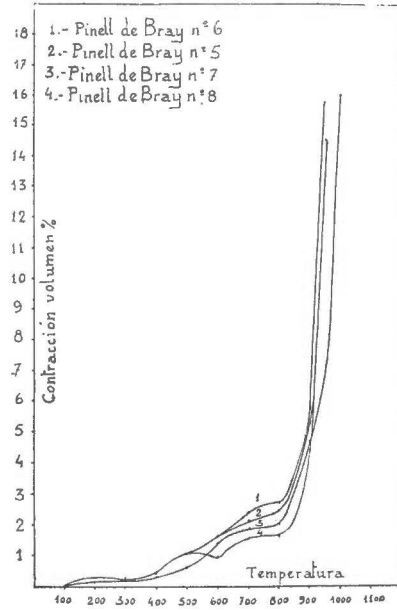


Fig. 36.

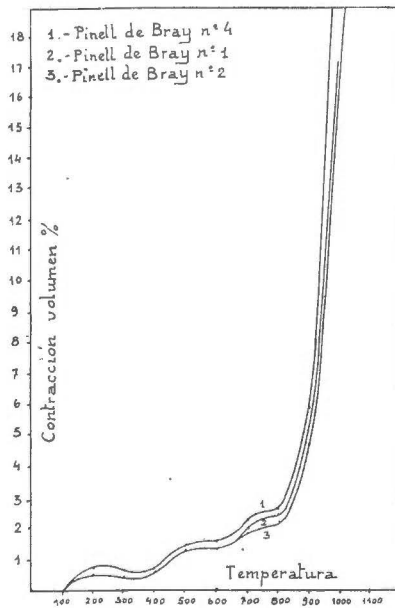


Fig. 37.

naturaleza e hicimos con ellas unos ensayos previos de contracción por calcinación, utilizando probetas desecadas a 105° C., de dimensiones  $8 \times 5 \times 0,5$  cm. Las muestras fueron calcinadas de 100 en 100 grados, desde 100° a 900°, y en cada calcinación se mantuvieron a la temperatura elegida por un tiempo no superior a una hora. En todos los casos se midieron en frío las dimensiones adquiridas por las probetas después de cada calentamiento. Estas medidas se hicieron con un calibrador.

En la segunda serie hemos elegido 22 muestras de distintos materiales, y con ellas hemos realizado el mismo tipo de medidas. La diferencia operatoria de esta serie con la anterior consiste en que las

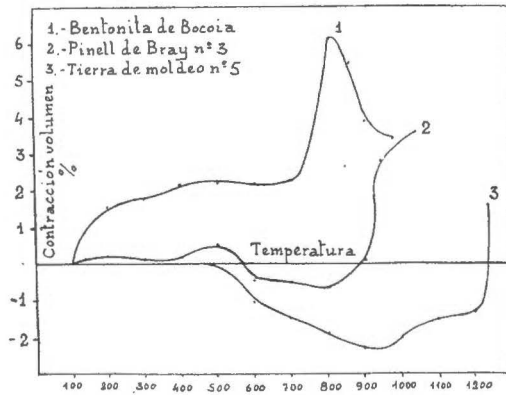


Fig. 38.

probetas han sido cilíndricas de  $d = 1,7$  cm. y  $h = 2,8$  cm.; se ha perfeccionado el procedimiento de medida en el sentido de usar un voluménometro de mercurio, y se ha abarcado una zona más amplia de temperaturas. El tiempo de calcinación ha sido de tres horas en todos los casos. En las probetas por triplicado de cada muestra se han puesto de manifiesto valores perfectamente concordantes.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 15 y en las figuras 32 a 38.

Según la naturaleza mineralógica de las muestras estudiadas, podemos establecer cinco grupos: *caolínes* (caolín lavado de Burela, caolín Sangrá, caolín bruto de Burela, arcillas de Burela núms. 4 y 7 y arcilla de Dena), *arcillas haloisíticas* (arcillas de Pinell de Bray y de Sangrá), *arcillas ílticas* (arcillas de Aranjuez y Norah), *arcillas montmorilloníticas* (sub-bentonita de Bocoia) y *materiales cuar-*

zosos (tierra de moldeo núm. 5 y arcilla de Pinell de Bray núm. 7).

Los efectos observados han sido los siguientes:

*Caolines.*—Hasta los 400° presentan una contracción muy pequeña. A 400° se inicia una contracción uniforme—ligada a la evolución del agua químicamente combinada en la estructura de la caolinita—que se prolonga hasta los 900°, temperatura en que se produce una contracción bastante acusada, debida probablemente a la formación de  $\gamma$ -alúmina (14) y a un comienzo de sinterización, comprobable por el gran descenso que se produce en la capacidad de absorción de agua en esta zona de temperaturas. En los caolines de Burela, con mayor contenido en sílice libre, se pone de manifiesto un efecto de dilatación entre 500° y 600°, ocasionado probablemente por el paso de  $\alpha$ -cuarzo a  $\beta$ -cuarzo. Esta suposición viene apoyada por el hecho de que el caolín bruto de Burela presenta el efecto más acusado que el mismo caolín lavado, y de la misma forma se observa este fenómeno en materiales fuertemente silíceos, como la tierra de moldeo número 5 y la arcilla de Pinell de Bray núm. 7.

El caolín bruto de Burela comienza su período de contracción a los 900°, y a 1.200° presenta una contracción mucho más acusada.

Las arcillas de Dena y Burela se comportan en cierto modo como caolines impuros, especialmente las de Burela, ya que presentan una dilatación entre 500° y 600° y una zona de baja contracción entre 600° y 800°. La arcilla de Dena ofrece la última gran contracción a temperaturas más bajas que los caolines típicos, debido probablemente a la presencia de haloisita en su composición.

*Arcillas haloisíticas.*—Las arcillas blanca, gris y negra de Sangrá, como representantes del tipo haloisítico, sufren una contracción muy pequeña hasta 400° (pero mayor que en el caso de los caolines). De 400° a 800° la contracción se hace más clara, y de 800° en adelante se contraen extraordinariamente. Este grupo de arcillas de Sangrá parece no poseer cuarzo libre en cantidades importantes.

Las arcillas de Pinell de Bray, también de base haloisítica, experimentan una contracción lenta hasta los 400°; de 400° a 800° la contracción sigue un régimen de crecimiento más claro (aunque en algunas muestras se observan pequeños efectos de dilatación entre 500° y 600°). Alrededor de los 800° comienza la contracción importante. En algunas arcillas de este grupo se observa una pequeña dilatación entre 200° y 300°, atribuible quizá a la transformación de la  $\alpha$ -cristobalita, que tiene lugar en este intervalo de temperaturas.

*Arcillas ilíticas.*—Sufren una lenta contracción hasta 400°. De 400° a 500° hay un pequeño efecto de contracción, y de 700° a 900° un efecto mucho más considerable. Esta segunda contracción parece hacerse mayor al aumentar el carácter ílitico de la arcilla.

*Arcillas montmorilloníticas.*—En la colección de materiales ensayados solamente ha aparecido una arcilla de esta naturaleza, y, por tanto, el comportamiento observado ha de tener una significación limitada. De 100° a 200° experimenta una contracción bastante clara. De 200° a 500° se contrae lentamente. De 500° a 700° no muestra variación ostensible. De 700° a 800° experimenta una gran contracción, y a partir de esta temperatura comienza un régimen de dilatación.

*Materiales cuarzosos.*—En general, ofrecen un comportamiento de pequeñas contracciones hasta los 500°. A partir de esta temperatura se inicia un período de dilataciones más o menos acusadas, y entre 800° y 950° comienza el régimen de contracción.

No podemos atribuir al cuarzo la totalidad de los efectos observados en estos materiales, ya que junto a él se encuentran fracciones considerables de otros constituyentes cristalinos y amorfos, que cooperan sumando sus propias variaciones de volumen o interviniendo en las reacciones de una manera activa. La extraordinaria complejidad de las transformaciones que ocurren no permiten más que deducir una conducta media, seguida en líneas generales por los minerales mayoritarios.

Las medidas de contracción por calcinación realizadas por el procedimiento inicial que antes hemos descrito han sido publicadas ya en un trabajo previo (1).

Las pequeñas desviaciones que presentan las medidas de la primera serie con respecto a las de la segunda, pueden, en parte, atribuirse a la imperfección del método, ya que en la última técnica empleamos un tiempo de calcinación muy superior y un procedimiento volumétrico más exacto.

En los presentes ensayos hemos observado que:

1.º Los materiales arcillosos, agrupados por la naturaleza de sus minerales mayoritarios, suministran unas curvas de contracción-dilatación de gran semejanza.

2.º Los caolines presentan tres zonas de distinta contracción:

100° - 400°	muy pequeña
400° - 900°	moderada
> 900°	grande

Las arcillas ílticas presentan dos efectos de contracción: uno, pequeño, entre 400° y 500°, y otro mucho más acusado, entre 700°

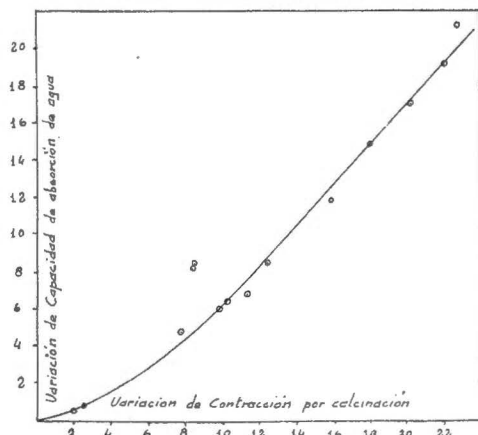


Fig. 39.

y 900°. Este último efecto parece hacerse mayor al aumentar el carácter íltico de la arcilla.

Se ha puesto de manifiesto la influencia que tiene el cuarzo libre

TABLA NÚM. 16.

MUESTRA	Variación de contracción por calcinación	Variación de capacidad de absorción de agua	Intervalo de temperaturas °C
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	17,95	14,88	900 — 1000
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	12,42	8,48	900 — 1000
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	2,68	0,96	900 — 950
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	15,96	11,99	900 — 1000
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	7,84	4,75	900 — 950
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	9,97	5,99	900 — 950
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	11,35	6,77	900 — 1000
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	10,16	6,30	900 — 950
Arcilla de Norah ... ..	8,39	8,48	910 — 980
Aranjuez n.º 1 ... ..	8,38	8,30	910 — 980
Arcilla blanca Sangrá ... ..	20,25	17,07	900 — 1000
Arcilla gris Sangrá ... ..	21,89	19,29	900 — 1000
Arcilla negra Sangrá ... ..	22,60	21,28	900 — 1000

sobre el comportamiento en la contracción de los materiales arcillosos.

3.º Se ha encontrado una clara correspondencia entre las grandes contracciones de los materiales arcillosos y la variación de la

capacidad de absorción de agua en el mismo intervalo de temperatura (fig. 39) (tabla 16).

4.º Se observa alguna relación entre los efectos termoquímicos y las variaciones de volumen que ocurren a las mismas temperaturas. Así, por ejemplo, el efecto endotérmico que presentan los caolines y arcillas haloisíticas hacia los 600º, va precedido de un comienzo de la contracción, y cuando se aproximan a la zona del último efecto exotérmico, esta contracción se hace mucho más acusada. Las arcillas haloisíticas, que presentan el último efecto exotérmico a temperaturas más bajas que los caolines, también comienzan su período de gran contracción a temperaturas inferiores.

La pérdida del agua adsorbida a bajas temperaturas, origina, por una parte, un efecto endotérmico, y, por otra, una apreciable contracción de la masa. Obsérvese a este respecto el comportamiento de la sub-bentonita de Bocoia, como caso límite.

#### POROSIDAD Y SINTERIZACIÓN

Durante el proceso del cocido de un material arcilloso ocurren transformaciones de estado conducentes a modificar, por cementación de los agregados, la estructura capilar del mismo. Esta evolución avanza en el sentido de disminuir el número y tamaño de los canalículos y de bloquear algunos de ellos, haciéndolos inaccesibles al paso de los flúidos. Cuando las soldaduras entre los granos, por elevación de la temperatura, han interceptado las entradas del sistema capilar, el producto cocido ha perdido totalmente la capacidad de absorción de flúidos y decimos que está sinterizado. La temperatura a la cual se logra esta estructura, se llama punto de sinterización.

El proceso de la sinterización es, pues, lento y gradual, y su desarrollo está condicionado por multitud de variables, como son: composición de la pasta, distribución granulométrica, condiciones en las que se ha efectuado el moldeo de la pieza, etc. El punto de sinterización no es más que el punto límite de tal proceso.

El estudio de la porosidad de los materiales cerámicos reviste el mayor interés desde el punto de vista de sus aplicaciones técnicas. Citaremos algunos aspectos en los que puede ponerse de manifiesto la intervención de esta propiedad. Una elevada porosidad en los ladrillos de paramento condiciona una baja resistencia a la he-



lada. Un ladrillo que albergue gran cantidad de agua en sus poros estará sometido a notables presiones en el momento de producirse la congelación; en cambio, un ladrillo sinterizado, o de baja capacidad de absorción de agua, estará a salvo de tal peligro.

Por un proceso de ascensión capilar en los ladrillos, el agua puede penetrar en el interior de los edificios, haciendo aparecer la humedad en sus paredes.

Por otra parte, el agua puede igualmente disolver las sales solubles y depositarlas en el exterior del ladrillo bajo forma de eflorescencias de aspecto desagradable.

En otros casos resulta conveniente exaltar la porosidad para favorecer la utilización de estos productos con otras miras. Así, se encuentran en la literatura, con mucha frecuencia, referencias sobre fabricación de porcelanas porosas para laboratorio e industria, ladrillos antitérmicos y antiacústicos, etc.

La porosidad de un cuerpo es, según el acuerdo general de los experimentadores técnicos y científicos, el porcentaje de volumen de los poros en razón al volumen aparente de la sustancia. Por tratarse de un número abstracto, que no depende de la magnitud de la probeta en estudio, la porosidad constituye una constante de la materia.

En realidad, la mayoría de los métodos propuestos para determinar la porosidad, por medio de absorciones de líquidos o gases, lo único que determinan es el volumen de los poros accesibles al paso de estos flúidos. El volumen de los poros cerrados queda de esta manera acumulado al del mismo sólido, constituyendo el conjunto lo que Laverge llama «volumen pseudo-real».

Conviene, pues, distinguir el concepto de porosidad—considerado como relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen aparente de la probeta—de lo que llamamos capacidad de absorción de agua, ya que la porosidad expresa el volumen total de los poros contenidos en la probeta, y la capacidad de absorción de agua, el peso del agua capaz de llenar los poros accesibles.

Para nuestro estudio hemos elegido la determinación de la capacidad de absorción de agua, por constituir un índice más claro para el enjuiciamiento de la sinterización.

El método seguido para el ensayo de nuestros materiales ha sido el que indican las normas DIN (13). Dice así:

«La capacidad de absorción de agua de un cuerpo expresa en

tanto por ciento del peso seco del mismo, la relación entre la cantidad de agua absorbida hasta saturación y su peso en seco.

La probeta, que tendrá las caras lisas y un volumen de 100 cm<sup>3</sup> por lo menos, se introduce hasta 1/4 de su altura, aproximadamente, en agua destilada hervida, libre de aire, y a temperatura ambiente; se añade agua cada media hora hasta que al cabo de dos horas se halle completamente sumergida. Luego se hierve la probeta en el agua destilada durante dos horas, teniendo cuidado de que no toque en el fondo recalentado del recipiente. Se repondrá el agua evaporada. Después de la cocción se deja enfriar la probeta en el agua hasta la temperatura ambiente, se seca la superficie con una esponja o trapo de lana hasta eliminar todas las gotas de agua, y se pesa. Así se obtiene el peso del cuerpo saturado de agua ( $G_w$ ). El secado de la probeta a 105-110° C. hasta pesada constante y la determinación de su peso en seco ( $G$ ), pueden hacerse antes o después de la cocción.

Se limpiarán bien las muestras antes del ensayo. Los trozos sueltos se quitarán cepillando enérgicamente. La capacidad de absorción de agua se calculará por la fórmula:

$$W = \frac{G_w - G}{G} \cdot 100 \text{ por } 100$$

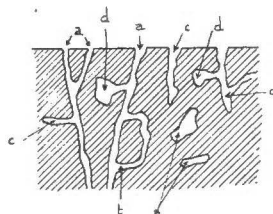
La única modificación que hemos introducido ha sido la reducción del volumen de las probetas a unos 5 cm<sup>3</sup>. Las pesadas se han hecho con balanza de precisión, y los resultados obtenidos son perfectamente comparables.

La determinación de la capacidad de absorción de agua requiere un cuidado especial, debido a la dificultad de llenar los poros de líquido. Se hace necesario, pues, adoptar técnicas operatorias escrupulosamente escogidas que conduzcan a un llenado de los poros lo más perfecto posible.

Según el físico-químico americano Washburn, las diferentes especies de poros que pueden existir en una pieza cerámica son: *a*), poros canales; *b*), poros circuitos; *c*), poros sin salida; *d*), poros bolsillos; *e*), poros cerrados. Washburn cita todavía un sexto tipo de microporos, que comprende todos aquellos que son demasiado pequeños para que el agua penetre. Resulta siempre dudoso que este tipo de poros tenga una existencia real, ya que no faltan razones para creer que el agua puede infiltrarse en cualquier poro, a condición de que sea suficientemente grande para contener una sola molécula.

Investigaciones realizadas por la Building Research Station han demostrado que los poros más pequeños, una vez llenos, retienen su agua mucho más fuertemente que los grandes.

Esta gran variedad en el tamaño, forma (fig. 40) y disposición de los poros, ya nos hace pensar en las dificultades que existen en



*Esquema de las diferentes clases de poros que pueden existir en los ladrillos  
(Segun E. U. Washburn)*

Fig. 40.

su llenado. El espacio vacío no es simplemente una cavidad en la que se puede verter el agua. Está dividido en numerosos y finos canales llenos de aire, y cuando el agua y el aire se encuentran en un espacio tan limitado, se bloquean mutuamente. Los canales son

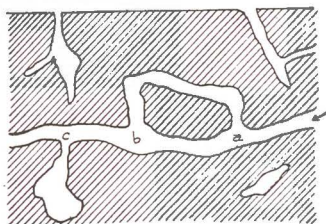


Fig. 41.

demasiado estrechos para que el aire forme una burbuja libre y se escape.

Consideremos, con Butterworth, un fragmento del sistema poroso formado por un poro-canal que da a un poro-circuito y a otro en forma de bolsillo (fig. 41). Supongamos que el agua se infiltra por capilaridad en la dirección de la flecha. Cuando llega al punto *a*, se divide en dos corrientes: una sigue el canal principal, y la otra penetra en el circuito. Las dos corrientes progresan, empujando el

aire delante de ellas. Cuando el canal principal está lleno hasta *b*, el agua no ha recorrido más que la mitad del circuito y queda aprisionada una pequeña burbuja de aire. De la misma forma, cuando el agua sobrepasa la entrada *c* del poro-bolsillo es muy poco probable que todo el aire que encierra pueda escaparse.

Esta imagen simplificada es suficiente para explicar el hecho, citado por numerosos investigadores, de que no es suficiente colocar un ladrillo en agua para llenar todos sus poros. Un poco del aire aprisionado puede acertar a escaparse si la inmersión dura mucho tiempo, pero los poros no se llenan completamente ni aun después de meses. La proporción del espacio poroso que se llena por inmersión varía considerablemente. Puede oscilar desde un 90 por 100 a menos de un 20 por 100.

A fin de reducir al mínimo las dificultades existentes en el llenado de los poros, se pueden utilizar los siguientes recursos:

1.º Realizar la inmersión en agua de la probeta con extraordinaria lentitud (nosotros lo hemos hecho en dos horas), a fin de que el aire desplazado encuentre fácil salida.

2.º Ebullición prolongada del agua en que está sumergida la probeta para que el aire incluido se dilate y se separe en burbujas. También se logra que el vapor de agua formado arrastre parte del contenido en aire.

3.º Enfriamiento de la muestra bajo el agua, a fin de que el agua se condense en los poros y llene los espacios de donde el aire ha sido expulsado.

4.º Calentar la probeta fuertemente antes de introducirla en agua hirviendo, para producir una gran dilatación del aire incluido.

5.º Colocar la probeta en un recipiente y hacer un fuerte vacío. A continuación se cierra la llave de la bomba de vacío, y, por otra, se hace entrar en el recipiente agua hervida.

6.º Aplicación de una presión de varias atmósferas para forzar el agua en los poros de la muestra.

Nosotros hemos determinado las capacidades de absorción de agua en un grupo de materiales de distinta naturaleza mineralógica y a diferentes temperaturas de calcinación.

La variación de la capacidad de absorción de agua con la temperatura de calcinación ha sido clara en todos los casos. Al elevar la temperatura de cocido de las piezas ha disminuído la proporción

TABLA NÚM. 17.  
Variación de la capacidad de absorción de agua (%) con la temperatura (°C)

Pinell de Bray núm. 1	Pinell de Bray núm. 2	Pinell de Bray núm. 3	Pinell de Bray núm. 4	Pinell de Bray núm. 5	Pinell de Bray núm. 6
900 20,15 1000 5,27 1040 3,45 1140 1,04 1160 0,12 Tsint = 1160°	900 16,57 1000 8,09 1040 7,84 1140 5,05 1200 4,42 1240 1,26 Tsint ≈ 1240°	900 14,51 950 13,55 1040 12,89 1140 12,80 1200 11,26 1240 7,94 Tsint > 1240°	900 18,07 1000 6,08 1140 0,47 1150 0,09 Tsint = 1150°	900 15,53 950 10,78 1040 9,51 1140 8,56 1200 7,96 1240 4,41 Tsint > 1240°	900 16,14 950 10,15 1040 8,88 1140 6,94 1200 5,28 1240 3,12 Tsint > 1240°
Pinell de Bray núm. 7	Pinell de Bray núm. 8	Norah	Aranjuez núm. 1	Aranjuez núm. 2	Arcilla blanca Sangrá
900 18,46 1000 11,69 1040 11,33 1140 11,25 1200 9,91 1240 6,32 Tsint > 1240°	900 15,22 950 8,92 1040 7,12 1140 0,28 1150 0,06 Tsint = 1150°	900 13,64 910 13,04 980 4,56 1030 0,21 Tsint = 1030°	900 8,52 910 8,33 980 0,03 Tsint = 980°	900 4,54 910 3,93 980 2,97 1010 0,11 Tsint = 1010°	900 21,66 1000 4,59 1040 3,21 1100 2,01 1125 0,13 Tsint = 1125°
Arcilla gris Sangrá	Arcilla negra Sangrá	Caolin Sangrá	Caolin lavado Burela	Caolin bruto Burela	Arcilla Burela núm. 4
900 23,52 1000 4,23 1100 3,64 1135 0,24 Tsint = 1135°	900 25,75 1000 4,47 1040 4,39 1100 3,48 1135 0,20 Tsint = 1135°	1240 9,51 Tsint > 1240°	1240 10,37 Tsint > 1240°	1240 15,24 Tsint > 1240°	1240 4,75 Tsint > 1240°
	Arcilla Burela núm. 7	Arcilla de Dena	Tierra de Moldeo núm. 5	Bentonita de Bocoia	
	1240 3,51 Tsint > 1240°	1100 13,63 1200 13,30 1240 7,28 Tsint > 1240°	1240 12,52 Tsint > 1240°	900 5,40 910 4,53 980 3,69 1020 0,08 Tsint = 1020°	

de poros que se llenan por inmersión. Este hecho se explica suponiendo que en las piezas cocidas a bajas temperaturas, los poros son sobre todo canales continuos, mientras que en las piezas fuertemente calcinadas, la parte fundida de la sustancia bloquea ciertos poros y cierra otros en parte, de forma que el agua debe seguir un camino más tortuoso para infiltrarse, aumentando con ello las probabilidades de aprisionamiento de aire.

En la tabla 17 se exponen los valores obtenidos para los puntos de sinterización y las capacidades de absorción de agua determinadas en materiales calcinados a distintas temperaturas.

Al observar los valores allí expuestos podemos comprobar la influencia de la composición mineralógica sobre la temperatura de sinterización. Así, vemos que las arcillas íliticas y montmorilloníticas tienen puntos de sinterización que varían desde 980° (Aranjuez, número 1) hasta 1.030° (Norah). Los caolines sinterizan por encima de 1.240° C. (temperatura máxima ensayada por nosotros). La influencia que tiene el cuarzo sobre la capacidad de absorción de agua en los materiales calcinados puede observarse en el caso de los caolines de Buñela. Estando ambos calcinados a 1.240°, al caolín lavado posee una capacidad de absorción de agua de 10,37 por 100, y el bruto de 15,24 por 100.

Las arcillas haloisíticas sinterizan hacia los 1.150° o temperaturas superiores, en caso de estar impurificadas por caolín o materiales cuarzosos. En el grupo de arcillas de Pinell de Bray se puede comprobar que la temperatura de sinterización está en cierto modo ligada al comportamiento plástico de las muestras. Así, las arcillas números 1, 4 y 8, de plasticidades superiores a 20, sinterizan hacia los 1.150°, mientras que las restantes lo hacen por encima de 1.240°. Las arcillas núms. 3 y 7, de plasticidad comprendida entre 12 y 13, aun conservan, después de calcinadas a 1.240°, una capacidad de absorción de agua comprendida entre 6 y 8 por 100.

También hemos comprobado alguna regularidad entre las contracción por calcinación de las arcillas y su capacidad de absorción de agua. En las zonas de grandes contracciones ocurren notables descensos en la capacidad de absorción de agua.

Hemos fijado nuestra atención en la zona de 900°-1.000°, en que la mayoría de las arcillas de la serie presentan fuerte contracción, y hemos observado que la capacidad de absorción de agua sigue una disminución paralela.

Al representar gráficamente estas variaciones (fig. 39) (tabla 16), vemos que, prácticamente, responden a una ley lineal. Las arcillas que se separan claramente de la recta (arcillas de Norah y Aranjuez) son de naturaleza mineralógica distinta al resto de las arcillas de la serie.

El grueso de las muestras es de naturaleza preponderantemente haloisítica, y las dos arcillas que se muestran en disconformidad con el comportamiento lineal, son de carácter ílitico. El hecho de que sus puntos de sinterización sean más bajos que los de las arcillas del conjunto, puede explicar la rapidez con que disminuye en ellas la capacidad de absorción de agua.

En los ensayos precedentes hemos observado que :

1.º Las arcillas íliticas y montmorilloníticas presentan su punto de sinterización alrededor de los 1.000° C. ; las haloisíticas, hacia los 1.150° o temperaturas superiores, en caso de estar impurificadas por otros minerales del grupo del caolín o materiales cuarzosos ; los caolines y arcillas caoliniticas, por encima de los 1.240° C.

2.º Hemos observado asimismo que en grupos de materiales de la misma naturaleza, la temperatura de sinterización está en cierto modo ligada al comportamiento plástico de las muestras. Así, las arcillas haloisíticas de Pinell de Bray núms. 1, 4 y 8, de plasticidades superiores a 20, sinterizan hacia los 1.150°, mientras que las restantes lo hacen por encima de 1.240°. Las arcillas núms. 3 y 7, de plasticidad comprendida entre 12 y 13, aún conservan a 1.240° una capacidad de absorción de agua comprendida entre 6 y 8 por 100.

Las arcillas de Aranjuez, de naturaleza ílitica, también presentan esta regularidad. La muestra núm. 1, de plasticidad 22,44, sinteriza a 980°, y la núm. 2, de plasticidad 19,04, lo hace a 1.010° C.

3.º La capacidad de absorción de agua disminuye con la temperatura de calcinación de los materiales arcillosos.

4.º Existe una clara relación entre la variación de la contracción por calcinación y la disminución de la capacidad de absorción de agua en el mismo intervalo de temperaturas. Dicha relación se hace lineal cuando se consideran materiales de la misma naturaleza mineralógica, pero su validez sólo alcanza a grandes variaciones de contracción y de capacidad de absorción de agua.

## RESISTENCIA MECÁNICA

Finalmente, hemos realizado algunos ensayos de las resistencias mecánicas de los materiales en estudio.

Por una parte, hemos atendido a la resistencia de los materiales desecados, y, por otro, a la resistencia de los mismos después de calcinados a distintas temperaturas.

En general, es restringida la validez de este tipo de ensayos, debido al gran número de factores que intervienen para decidir la resistencia de los productos finales. Los más importantes, a nuestro juicio, son:

- a) Naturaleza de la arcilla.
- b) Grado de división.
- c) Homogeneidad de la pasta.
- d) Agua de amasadura.
- e) Presión de moldeo.
- f) Tratamiento térmico.

En los procesos industriales hay que conceder un margen de variabilidad a cada uno de estos factores: la composición de la arcilla y su distribución granulométrica varían considerablemente de unos puntos a otros de un mismo yacimiento. La homogeneidad de la pasta sólo se alcanza en la elaboración de piezas delicadas. El agua de amasadura, que influye notablemente en la ordenación de los granos durante el prensado, puede variar en algunas unidades por ciento en el curso de la fabricación. El grado de calcinación afecta decididamente al comportamiento mecánico de los productos cerámicos, de forma que la resistencia mecánica aumenta a medida que la temperatura de calcinación se acerca al punto de sinterización. Ahora bien, el tratamiento térmico de las distintas piezas cocidas en una misma hornada puede ser distinto por las siguientes causas:

- a) Heterogeneidad de temperatura en el horno.
- b) Distinta refractariedad de las piezas, originada por variaciones en su composición inicial.
- c) Variación de la refractariedad de las piezas por irregularidades en los procesos de amasado y prensado.
- d) Variación de la refractariedad, debido a la distinta carga que soporta cada pieza, en el caso de hornadas en pila.
- e) Heterogeneidad en la atmósfera del horno.



Por las causas que hemos enumerado creemos que a los valores obtenidos para las resistencias de las piezas fabricadas en procesos industriales hay que darles una significación estadística, y solamente en el caso de haber controlado rigurosamente todos los factores que intervienen, pueden adquirir cierta individualidad.

TABLA NÚM. 18.  
*Resistencia mecánica de pastas desecadas a 100° C*

MUESTRAS	PERCUSIÓN		TRACCIÓN	
	Trabajo de rotura gr. cm.	Carga de rotura Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación de rotura mm.	
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	18,81	6,90	0,75	
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	17,91	2,59	0,36	
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	12,66	3,17	0,30	
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	19,70	4,48	0,42	
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	13,43	3,25	0,60	
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	13,48	5,75	0,67	
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	11,91	4,48	0,57	
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	23,29	6,44	0,65	
Arcilla blanca Sangrá ... ..	12,54	8,04	0,80	
Arcilla Aranjuez n.º 1... ..	20,60	15,69	1,20	
Arcilla Aranjuez n.º 2... ..	23,02	7,56	0,96	
Arcilla Norah ... ..	14,33	24,17	1,20	
Caolín Sangrá ... ..	11,38	1,72	0,49	
Caolín lavado Burela ... ..	8,06	2,51	0,60	
Caolín bruto Burela ... ..	10,74	2,54	0,46	
Arcilla Burela n.º 4 ... ..	9,85	2,19	0,91	
<i>Valores medios</i>				
Grupo ilítico... ..	19,31	15,81	1,12	
Grupo haloisítico ... ..	15,96	5,01	0,57	
Grupo caolinitico ... ..	10,01	2,24	0,61	

Por nuestra parte, hemos procurado afinar en lo posible en la elaboración de las probetas, y, a pesar de todo, los valores que presentamos no son más que los valores medios de un pequeño grupo de ensayos.

#### RESISTENCIA A LA PERCUSION

Para este tipo de medidas hemos utilizado probetas de masas desecadas a 100° C.

Las probetas—pequeños discos de  $d = 3,8$  cm. y  $h = 0,2$  cm.—se han confeccionado con masa en el límite de adherencia. La desecación se ha hecho primero al aire y después en estufa a  $100^{\circ}$  C.

Las medidas han sido realizadas con un sencillo dispositivo que permite caer una bola de acero de 6,54 gr. sobre la probeta, desde alturas crecientes. La probeta está a su vez colocada sobre tres bolas de acero dispuestas sobre los vértices de un triángulo equilátero. El peso de la bola y la altura de caída nos definen el trabajo de rotura. Los valores hallados para los distintos materiales aparecen en la tabla 18.

Agrupando las muestras en series de la misma naturaleza mineralógica no se observa regularidad alguna en el comportamiento de sus distintos componentes, pero hallando los valores medios de cada una de las series es fácil observar cómo varía el trabajo de rotura por percusión al variar la naturaleza de los materiales. El crecimiento de dicho trabajo de rotura se verifica en el siguiente orden: serie caolinítica, serie haloisítica, serie ílítica.

#### RESISTENCIA A LA TRACCION

La resistencia a la tracción de masas desecadas a  $100^{\circ}$  ha sido ensayada con un aparato universal de resistencias. Las probetas, en forma de ocho, se han confeccionado con pastas en el límite de adherencia, utilizando un molde adecuado. Se ha procurado la mayor homogeneidad posible en la masa, y la desecación ha sido hecha, primero al aire y después en estufa a  $100^{\circ}$  C.

Preparadas así las probetas, se han ensayado las deformaciones o estiramientos que sufren a distintas cargas actuantes (figs. 42 a 45) hasta el límite de rotura. En las representaciones gráficas obtenidas para el sistema carga-deformación, se observa, en general, un comportamiento más o menos lineal en la zona de pequeñas cargas, haciéndose mayores las deformaciones en la proximidad de la zona de rotura.

Los valores obtenidos en este tipo de ensayo (tabla 18) demuestran escasa correspondencia con otros aspectos estudiados en las mismas muestras. A pesar de todo, considerando los valores medios de las cargas de rotura de las muestras, agrupadas según su constitución mineralógica, se pone en evidencia una notable separación

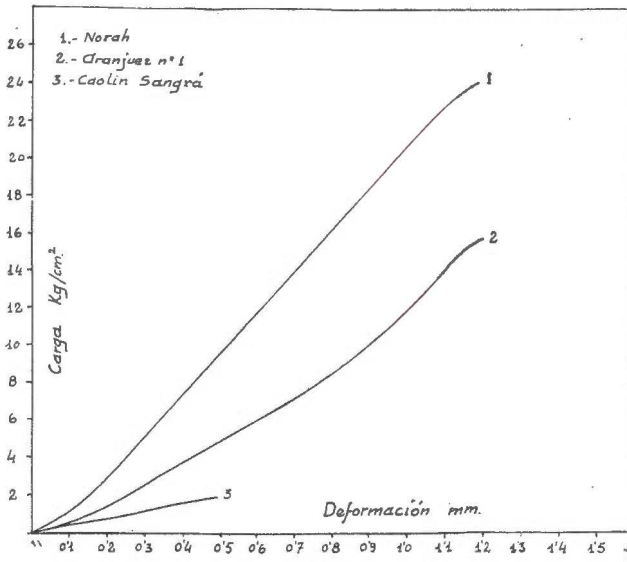


Fig. 42.

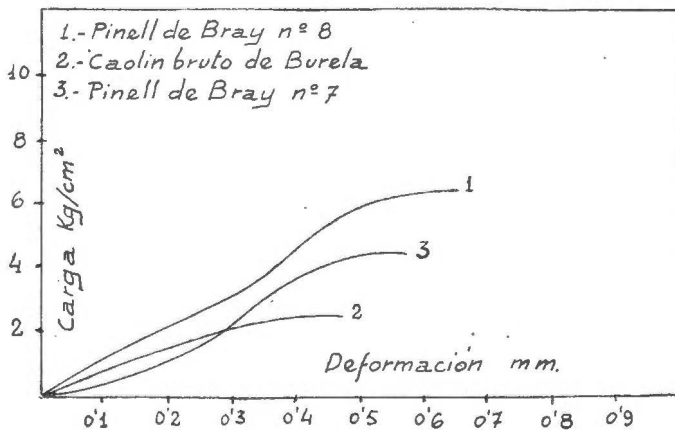


Fig. 43.

de valores. Los materiales caoliniticos ofrecen poca resistencia a la tracción, los haloisíticos moderada y los ílíticos muy alta.

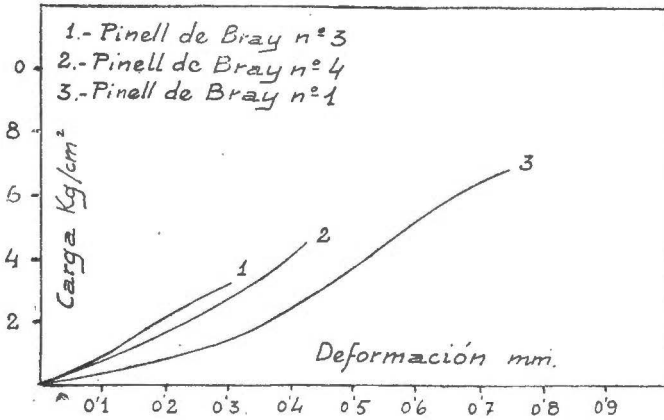


Fig. 44.

Respecto a las deformaciones de rotura, solamente debemos resaltar el acusado alargamiento de las arcillas ílíticas frente al resto de los materiales estudiados.

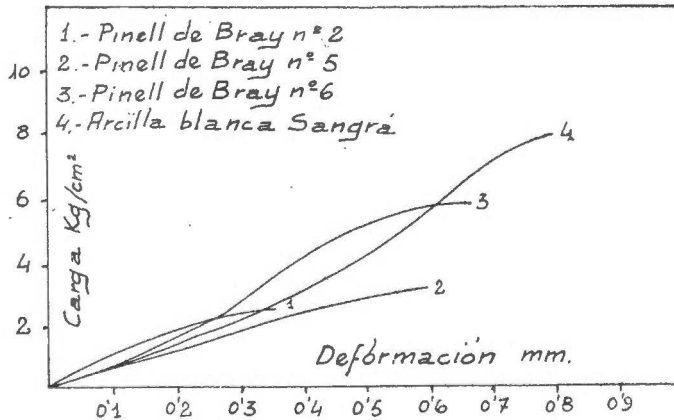


Fig. 45.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESION

Al realizar este tipo de ensayo, nuestro propósito ha sido el de comprobar la variación de resistencia a la compresión que experimentan las arcillas al sufrir distintos grados de calcinación.

Las probetas utilizadas para este ensayo han sido cilindros de  $d = 2,00$  cm. y  $h = 2,90$  cm. La preparación se ha hecho de la siguiente forma:

Se coloca en un mortero la cantidad conveniente de arcilla, previamente tamizada por un tamiz de 0,3 mm., y se humedece hasta el punto en que comienza a granularse por aglomeración de las pequeñas partículas. En este estado se introduce en un cilindro de acero de las dimensiones deseadas y se comprime con un atacador de golpeo a razón de 15 golpes. La probeta así obtenida, se extrae

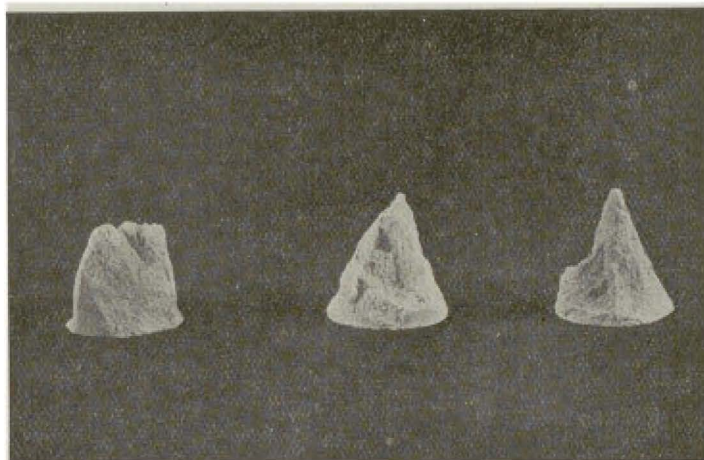


Fig. 46.

por compresión a mano y se la deja secar al aire. A continuación pasa por un período de secado en estufa, y, por último, se calienta a la temperatura escogida y se mantiene en ella por un tiempo de tres horas. Las probetas cocidas pasan a verificar el ensayo de rotura por compresión en los aparatos adecuados. En nuestro caso, hemos utilizado dos prensas que amablemente nos ha brindado la Escuela de Ingenieros de Caminos.

Las probetas, por triplicado, han suministrado unos valores para la carga de rotura bastante concordantes en la mayoría de los casos. La frecuencia con que se ha presentado el tipo de fractura expuesto en la figura 46 nos indica que, en general, la homogeneización y compresión del material ha sido suficientemente correcta.

Por exigencias de los puntos de sinterización, hemos agrupado

los materiales en dos series de calcinaciones: una de 750° a 950°, para pastas de bajo punto de sinterización, y otra de 950° a 1.150°, para pastas que sinterizan a más alta temperatura.

Aunque disponemos de los valores de la carga de rotura de todos los materiales a una misma temperatura de calcinación, no creemos correcto extraer conclusión alguna acerca de la posible relación con su naturaleza mineralógica, finura de grano, etc., debido a que, en

TABLEA NÚM. 19.  
*Resistencia a la compresión, en Kg/cm<sup>2</sup> de pastas calcinadas a distintas temperaturas*

MUESTRA	Temperatura de calcinación					Temperatura de sinterización °C
	750°	850°	950°	1050°	1150°	
Arcilla de Norah ... ..	270	360	470	—	—	1030
Arcilla de Aranjuez n.º 1 ... ..	190	530	880	—	—	980
Arcilla de Aranjuez n.º 2 ... ..	310	470	580	—	—	1010
Arcilla blanca Sangrá... ..	190	260	350	—	—	1125
Arcilla gris Sangrá ... ..	180	210	270	—	—	1135
Arcilla negra Sangrá... ..	150	220	340	—	—	1135
Bentonita de Bocoia ... ..	250	330	380	—	—	1020
Pinell de Bray n.º 1 ... ..	—	—	280	370	550	1160
Pinell de Bray n.º 2 ... ..	—	—	540	830	970	1240
Pinell de Bray n.º 3 ... ..	—	—	280	320	440	1240
Pinell de Bray n.º 4 ... ..	—	—	630	710	1120	1150
Pinell de Bray n.º 5 ... ..	—	—	420	640	680	1240
Pinell de Bray n.º 6 ... ..	—	—	550	780	900	1240
Pinell de Bray n.º 7 ... ..	—	—	260	280	350	1240
Pinell de Bray n.º 8 ... ..	—	—	660	1000	1660	1150
Caolin Sangrá ... ..	—	—	50	90	130	1240
Caolin lavado Burela ... ..	—	—	30	40	90	1240
Caolin bruto Burela ... ..	—	—	20	30	40	1240
Arcilla Burela n.º 4 ... ..	—	—	40	50	110	1240
Arcilla Burela n.º 7 ... ..	—	—	40	50	110	1240

realidad, el factor decisivo en este tipo de ensayo es el estado de cementación de los granos, y éste depende casi exclusivamente de la proximidad o lejanía del punto de sinterización.

Ahora bien, en un mismo material se ve claramente (tabla 19) un aumento de la resistencia a la compresión a medida que la temperatura de cocido se aproxima al punto de sinterización. En muestras como las arcillas de Aranjuez núm. 1, Pinell de Bray núm. 4 y Pinell de Bray núm. 8, en que se ha llegado prácticamente a la sinterización, se observa que la carga de rotura crece de una forma extraordinaria.

Es conveniente resaltar que en la serie de materiales estudiados por nosotros hemos hallado resistencias a la rotura iguales o superiores a las que marca la British Standard (4) para ladrillos técnicos de calidad superior.

El hecho de llegar a la sinterización de los ladrillos tiene, a nuestro juicio, las dos ventajas siguientes:

a) Gran resistencia mecánica. El peso total del ladrillo empleado en la construcción puede reducirse al mínimo que permitan las exigencias de la transmisión térmica.

b) Gran duración. Parece estar admitido que la carga de rotura viene a ser un índice de duración. La explicación de este hecho está en que para aumentar la resistencia a la compresión hace falta acercarse a la sinterización, y con ello se reduce el sistema capilar del ladrillo y disminuyen los peligros que dicho sistema trae consigo, como resistencia a la helada, etc.

Las dificultades técnicas más acusadas que entrevemos para la consecución de los ladrillos sinterizados son:

a) Acondicionamiento de hornos con temperatura constante y uniforme.

b) Los ladrillos apilados en el horno sufren el reblandecimiento bajo carga, y este hecho puede ser peligroso cuando se bordea el punto de sinterización.

En los ensayos precedentes hemos observado que:

1.º El trabajo de rotura por percusión y la carga de rotura por tracción de materiales arcillosos desecados a 100° C. parece estar su-peditado a la naturaleza mineralógica de los mismos y crece según el siguiente orden: caolinita, haloisita, ilita.

2.º La resistencia a la compresión en masas calcinadas crece a medida que la temperatura de cocido se aproxima al punto de sinterización. En algunas arcillas estudiadas hemos hallado resistencias a la compresión iguales o superiores a las que marca la British Standard para ladrillos técnicos de calidad superior. Los caolines, en general, han ofrecido pequeñas resistencias a la rotura por compresión.

#### CONCLUSIONES

1.ª El índice de plasticidad de Rieke está relacionado esencialmente con la naturaleza mineralógica de las arcillas y crece en el

siguiente orden: caolinita, ilita y montmorillonita (las arcillas haloisíticas presentan una plasticidad análoga a la de las iliticas). Como consecuencia de este hecho, la plasticidad ha aparecido relacionada también con las pérdidas por desecación y con la capacidad de cambio de bases. No se ha encontrado una clara relación entre la plasticidad y la distribución granulométrica.

2.<sup>a</sup> Al estudiar el comportamiento viscoso de las suspensiones arcillosas se ha observado que, tanto al diluir la suspensión como al añadir NaOH, se produce una rectificación de las curvas flujo-presión hidrostática. Al mismo tiempo aumenta la movilidad y disminuye el límite de escurrimiento.

3.<sup>a</sup> Al ensayar el comportamiento tixotrópico de las suspensiones arcillosas con un consistómetro de torsión, hemos logrado expresar en unidades absolutas la variación de la rigidez con el tiempo. Dicha variación de la rigidez es considerable en los primeros segundos de reposo y se hace más lenta posteriormente. De estos estudios se desprende que los caolines presentan baja tixotropía (en suspensiones al 20 por 100, aproximadamente 1 dina/cm<sup>2</sup>), las bentonitas muy elevada (en suspensiones al 6 por 100, de 11 a 35 dinas/cm<sup>2</sup>, según su riqueza) y las arcillas ofrecen valores muy variables según su naturaleza (en suspensiones al 40 por 100, de 4 a 11 dinas/cm<sup>2</sup>).

Se ha observado también que entre el volumen de sedimentación y la gelación tixotrópica existe una cierta vinculación, fácilmente comprobable en los casos extremos, y más dudosa en los intermedios.

4.<sup>a</sup> En los diagramas de contracción y porosidad se han puesto de manifiesto las distintas formas de estar retenida el agua en las masas arcillosas, y se ha observado que la marcha de estos fenómenos en distintos materiales, permite incluso una diferenciación clara en cuanto a su carácter mineralógico. Así, en los caolines, la contracción debida a la pérdida del agua del film es muy pequeña, y se pasa bruscamente de la primera a la tercera fase de la contracción. En las arcillas iliticas esta transición es más visible y se realiza con cierta lentitud, debido a su mayor contenido en agua de film. En las bentonitas, como caso límite, resulta difícil separar la duración de cada una de las tres fases de la contracción, ya que se suceden con absoluta continuidad.

La contracción por desecación crece en el siguiente orden: cao-



lines, arcillas ílticas y arcillas montmorilloníticas. La porosidad sigue una marcha opuesta.

En los materiales plásticos predomina la contracción sobre la porosidad, mientras que en los poco plásticos ocurre lo contrario.

5.<sup>a</sup> El límite de arrollamiento de una arcilla se alcanza cuando el contenido en humedad no rebasa el valor dado para la suma de agua de film y agua de porosidad. Según esto, el índice de plasticidad de Rieke expresa el máximo contenido de agua de contracción que puede soportar una masa arcillosa sin llegar al límite de adherencia.

Se ha observado también que el agua libre se pierde linealmente, de forma que el volumen de contracción es igual al volumen del agua libre eliminada. Las desviaciones observadas se interpretan como variaciones en la densidad del agua de adsorción producidas por influencia de la red.

6.<sup>a</sup> Los materiales arcillosos agrupados por la naturaleza de sus minerales mayoritarios, suministran curvas de contracción-dilatación de gran semejanza, y características para cada grupo de materiales. En efecto, las arcillas ílticas comienzan su período de gran contracción entre 700° y 750° C.; las haloisíticas alrededor de 800°, y los caolines, por encima de 900° C.

7.<sup>a</sup> Las arcillas ílticas y montmorilloníticas presentan su punto de sinterización alrededor de los 1.000° C.; las haloisíticas, hacia los 1.150° o temperaturas superiores, en caso de estar impurificadas por otros minerales del grupo del caolín o materiales cuarzosos; los caolines y arcillas caolínicas, por encima de los 1.240° C.

En el grupo de las arcillas refractarias de Pinell de Bray se observa que, en general, las muestras que presentan valores más elevados para el producto de fundentes por suma de limo y arcilla, sinterizan a más bajas temperaturas.

Se ha comprobado asimismo que en grupos de materiales de la misma naturaleza mineralógica, la temperatura de sinterización se hace menor en las muestras más plásticas.

8.<sup>a</sup> Existe una clara relación entre la variación de la contracción por calcinación y la disminución de la capacidad de absorción de agua en el mismo intervalo de temperaturas. Dicha relación se hace lineal cuando se eligen materiales de la misma naturaleza mineralógica y se consideran zonas de grandes variaciones de contracción y de capacidad de absorción de agua.

9.<sup>a</sup> El trabajo de rotura por percusión y la carga de rotura por tracción de materiales arcillosos desecados a 100° C. parecen estar supeditados a la naturaleza mineralógica de los mismos y crecen en el siguiente orden: caolinita, haloisita e ilita.

10. La resistencia a la compresión aumenta al elevar la temperatura de cocido. Este crecimiento de la resistencia se hace más acusado en las proximidades del punto de sinterización. Así, por ejemplo, la arcilla de Pinell de Bray núm. 4, calcinada a 950°, presenta una resistencia a la compresión de 630 Kg/cm<sup>2</sup>, a 1.050°, 710 Kg/cm<sup>2</sup>, y al llegar a la temperatura de sinterización (1.150°) su resistencia se eleva a 1.120 Kg/cm<sup>2</sup>. En algunas arcillas estudiadas se han hallado resistencias a la compresión iguales o superiores a las que marca la British Standard para ladrillos técnicos de calidad superior. Los caolines, en general, han ofrecido pequeñas resistencias a la compresión, debido a que las temperaturas de cocido han sido muy inferiores a su punto de sinterización.

INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL  
Sección de Químico-Físico de Madrid.

#### RESUMEN

Se ha verificado un estudio técnico de un grupo de materiales arcillosos, ya identificados desde el punto de vista químico y mineralógico en un trabajo anterior.

Las propiedades técnicas estudiadas han sido las siguientes: plasticidad, viscosidad, tixotropía, volumen de sedimentación, velocidad de pérdida de agua através de la masa, contracción por desecación, porosidad en la desecación, variación de volumen en la calcinación, porosidad y sinterización, y resistencias mecánicas en pastas desecadas y calcinadas.

Se han puesto de manifiesto las relaciones existentes entre la plasticidad y la constitución mineralógica de los materiales.

Al estudiar el comportamiento viscoso de las suspensiones arcillosas se ha observado que, tanto al diluir la suspensión como al añadir NaOH, se produce una rectificación de las curvas flujo-presión hidrostática. Al mismo tiempo aumenta la movilidad y disminuye el límite de escurrimiento.

Al ensayar el comportamiento tixotrópico de las suspensiones arcillosas con un consistómetro de torsión, hemos logrado expresar en unidades absolutas la variación de la rigidez con el tiempo. Se han obtenido curvas de tixotropía en las que se puede observar el distinto comportamiento de los diferentes materiales.

En los diagramas de contracción y porosidad en la desecación se han puesto de manifiesto las distintas formas de estar retenida el agua en las masas arcillosas y se ha comprobado que la marcha de estos fenómenos en distintos materiales, permite incluso una diferenciación clara en cuanto a su carácter mineralógico. La

contracción por desecación crece en el siguiente orden: caolines, arcillas iliticas y arcillas montmorilloníticas. La porosidad sigue una marcha opuesta.

Los materiales arcillosos agrupados por la naturaleza de sus minerales predominantes ofrecen curvas de contracción-dilatación de gran semejanza, y características para cada grupo de materiales. En efecto, las arcillas iliticas comienzan su periodo de gran contracción entre 700° y 750° C.; las haloísticas alrededor de 800° y los caolines por encima de 900° C.

Las arcillas iliticas y montmorilloníticas presentan su punto de sinterización alrededor de los 1.000° C.; las haloísticas hacia 1.150° C. o temperaturas superiores en caso de estar impurificadas por otros minerales del grupo del caolín o materiales cuarzosos; los caolines y arcillas caoliníticas, por encima de 1.240° C.

El trabajo de rotura por percusión y la carga de rotura por tracción de materiales arcillosos desecados a 100° C., parecen estar supeditados a la naturaleza mineralógica de los mismos y crecen en el siguiente orden: caolinita, haloisita e ilita.

La resistencia a la compresión aumenta al elevar la temperatura de cocido. Este crecimiento de la resistencia se hace mucho más acusado en las proximidades del punto de sinterización.

#### SUMMARY

A technical study has been made of a group of clay materials which had been identified from the chemical and mineralogical point of view in a previous study.

The following technical properties were studied: plasticity, viscosity, thixotropy, volume of sedimentation, speed of water loss through mass, contraction on desiccation, porosity during desiccation, variation of the volume during calcination, porosity and sinterization, and mechanical resistance in desiccated and calcinated pastes.

The relations existing between the plasticity and the mineralogical constitution of the material are shown.

On studying the viscous behaviour of the clay suspensions it was observed that both by diluting the suspension and by adding NaOH, a rectification of the curves «flux: hydrostatic pressure» is produced. At the same time the mobility increases and the yield value.

On studying the thixotropic behaviour of clay suspensions with a consistometer of torsion we were able to express in absolute units the variation of rigidity with time. Thixotropy curves were obtained from which the different behaviour of different materials could be observed.

In the graphs relating to concentration and porosity during desiccation, the different forms of the retention of water in clay masses are revealed and it was found that the course of these phenomena in different materials permits a clear differentiation with regard to their mineralogical character. Concentration by desiccation increases in the following order: kaolins illite clays and montmorillonite clays. The porosity follows the reverse order.

The clay materials grouped by the predominant minerals show contraction: dilatation curves and characteristics which are very similar for each group. In fact, illite clays begin their period of great contraction between 700° and 750° C.; haloisites about 800° and kaolins above 900° C.

Illite and montmorillonite clays show their sinterization point about 1.000° C. : hallosites at 1.150° C. and higher temperatures if they are impure, that is to say mixed with other minerals of the kaolin group or quartz minerals; kaolins and kaolin clays above 1.240° C.

The modulus of rupture by percussion and the shock resistance by traction of desiccated clay materials at 100° C. seems to depend on the mineralogical nature of these materials and increase in the following order: kaolinite, halloisite and illite.

The compression resistance increases with increased calcination temperature. The increase of the resistance becomes more marked near the point of sinterization.

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALEXANDRE, V., y GARCÍA VERDUCII, A. 1950. *Anal. Edaf.*, 9:537.
- (2) BEECH, D. G., y FRANCIS, M. 1946. *Trans. Brit. Cer. Soc.*, 45:148.
- (3) BLEININGER, A. V. 1911. U. S. B. of Standards. Tech. Paper., 1.
- (4) British Standard, 1945, 1.257.
- (5) DEBYE, P., y HÜCKEL, E. 1923. *Phys. Z.*, 24:185.
- (6) FREUNDLICH, H. 1935: Tixotropy. París.
- (7) GIAN-PIERO REGGIORI. 1946. *Cerámica Industriale*. Milán.
- (8) GREAVES-WALKER, A. F. 1948. *Drying ceramic products*. Chicago.
- (9) HAMAKER, H. C. 1936. *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas.*, 55:1.015.
- (10) HAUSER, E. A., y READ, C. E. 1937. *J. Phys. Chem.*, 41:911.—JULIUSBURGER, F., y PIRQUET, A. 1936. *Trans. Far. Soc.*, 32:445.—PRYCE-JONES, J. 1934. *J. Oil and Colour Chem. Assoc.*, 17:305.—HATSCHEK, E., y JANE, R. S. 1926. *Koll. Z.*, 39:300.—GOODEVE, C. F., y WHITFIELD, G. W. 1938. *Trans. Far. Soc.*, 34:511.
- (11) JULLANDER, I. 1945. *Särtryk ur Svensk Kemisk Tidskrift.*, 57: 148.
- (12) LINDSAY, D. C., y WADLEIGH, W. H. 1925. *Jour. Amer. Cer. Soc.*, 8:677.
- (13) Normas DIN., 1.065. C. D. marzo 1942, 601, 4, 666.76.
- (14) NORTON, F. H. 1942. *Refractories*. New York-Londres.
- (15) RIEKE, R., y MAUVE, L. 1936. *Ber. Deut. Ker. Ges.*, 17:537.

# LA ZOOLOGIA DEL SUELO COMO CIENCIA AUXILIAR DE LA EDAFOLOGIA (\*)

por

HERBERT FRANZ (\*\*)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los comienzos de la investigación de la vida terrícola del suelo, del «edafón» en el sentido de Francé (1912), se remontan a hace mucho más de un siglo. Pero sólo en las últimas décadas se ha reconocido por primera vez a la Biología del Suelo su importancia fundamental para Edafología y únicamente desde entonces aquélla ha experimentado un rápido y creciente desarrollo. En el momento actual la bibliografía correspondiente se encuentra en vías de rápido aumento y, si se incluyen las ciencias afines, apenas puede tenerse una visión de conjunto de ella. No obstante, nos encontramos todavía en los principios de la descripción y la comprensión estadística de las especies de la fauna y flora del suelo, y, con más razón aún, de la investigación de la ecología de las especies y de su asociación en las comunidades biológicas (sinusias) de composición específica totalmente determinada. Sólo cuando uno se da cuenta de cuán deficiente es aún nuestro conocimiento de los organismos terrícolas, y de lo poco que sabemos todavía acerca de los detalles de los procesos vitales que se desarrollan en el suelo, puede apreciarse cuánto trabajo de investigación queda por realizar en el dominio de la Biología del Suelo y qué extraordinario progreso ello reportaría, no sólo a la Mi-

---

(\*) Conferencia pronunciada en el INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLÓGIA VEGETAL, Madrid, 8 de marzo de 1951.—Traducción de Agustín Prieto.

(\*\*) Jefe del Laboratorio de Bioedafología del Centro para las Investigaciones Agrícolas Alpinas de Admont (Austria).

ología, Zoología y Biocenótica, sino también a la Edafología. Para dar una idea en este trabajo del estado actual de la Biología del Suelo, he aquí una ligera visión de conjunto de la situación que ha alcanzado hasta hoy la Zoología del suelo.

Me limitaré a la microfauna del suelo porque ésta tiene una importancia especialmente grande en la formación y mejoramiento del mismo, en el sentido de una mayor fertilidad.

Por microfauna del suelo entiendo la totalidad de los invertebrados terrícolas, desde sus representantes edáficos más pequeños, hasta las lombrices, en parte relativamente grandes. Una distinción entre micro, meso y macrofauna, como pretende Ulrich (1933) y ha ensayado últimamente Fenton (1947), es prácticamente irrealizable. Si se dividieran esquemáticamente en grupos, según su tamaño, los representantes animales del «edafón», se tendría como consecuencia, no sólo la separación en diferentes categorías de las especies del mismo grupo taxonómico e igual función ecológica, sino a veces incluso la de las fases de desarrollo de la misma especie. Una clasificación en cierto modo natural de la fauna del suelo, sólo es posible según puntos de vista de parentesco (sistemáticos) o funcionales. Más adelante volveré sobre una proposición en este último sentido; las discusiones siguientes tendrán como fundamento, por conveniencia, una agrupación de los animales del suelo según puntos de vista sistemáticos.

## 2. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CONJUNTO DE ESPECIES

Hace ya mucho tiempo que G. Ch. Ehrenberg (1837 y 1854) y Ch. Darwin (1837 y 1882) escribieron sus clásicos trabajos, el uno sobre los animales más pequeños del suelo, el otro sobre la importancia de las lombrices en el mezclado de la tierra de labor. A pesar de ello, la investigación de la microfauna del suelo es todavía insuficiente en muchos aspectos, e incluso se encuentra aún, en grupos sistemáticos determinados, en sus primeros comienzos. Esto proviene de que sólo paulatinamente se ha logrado hacer accesibles a la observación los organismos del suelo, y de que los métodos empleados en su investigación hasta estos últimos tiempos eran, en parte, insuficientes. Este fué sobre todo el caso en la investigación de los organismos más pequeños del suelo.

Los seres terrícolas más pequeños, las bacterias y también los pro-

tozoos, pudieron ser aislados del sustrato en la medida en que se cultivaron en medios nutritivos artificiales. Estos métodos habían sido probados en la Medicina y fueron introducidos en la Biología del suelo nada menos que por Roberto Koch. En la investigación de la vida del suelo, los cultivos en medios artificiales sólo prestan servicios limitados, porque muchos pequeños seres terrícolas no prosperan en medios nutritivos artificiales o en condiciones aerobias. Por eso, en las últimas décadas se ha pasado cada vez más a investigar los organismos terrícolas más pequeños en los extractos acuosos recientes del suelo. La investigación de los protozoos del suelo parece entrar en una etapa completamente nueva por medio de su estudio en medios naturales. Por este camino Koffman (1934) ha demostrado que la asociación de los protozoos es completamente distinta a la obtenida por cultivos en placas; y de sus trabajos se saca la impresión de que los protozoos estenotopos del suelo únicamente son accesibles a la observación, en general, por investigación directa, y de que actualmente se conocen aún de un modo completamente insuficiente. Esto mismo es manifiestamente válido para muchos microbios vegetales, por lo cual el desarrollo de los métodos de observación directa de los seres vivos más pequeños del suelo en el sustrato natural, constituye hoy una de las premisas más urgentes para el rápido desarrollo ulterior de la Biología del suelo. Lo mismo que la investigación de los protozoos, la de los rotíferos sólo sería posible por medio de los estudios de extractos acuosos frescos de suelo. J. Donner se ha ocupado de este asunto en los últimos años, y ha descubierto en el suelo un gran número de rotíferos de los cuales muchos son completamente nuevos para la ciencia. Donner ha publicado, en 1949, una primera serie de tales nuevos organismos; están imprimiéndose nuevas y más amplias descripciones de los mismos, y existe, manuscrita, una descripción de las comunidades (agrupamientos) de rotíferos en el suelo. En sus investigaciones sobre los extractos acuosos del suelo se encuentran, frecuentemente, además de protozoos y rotíferos, gastrotricos y tardígrados. Los primeros están aún casi sin investigar en su aspecto sistemático y ecológico, y los últimos han sido sometidos por F. Mihelčič en los últimos diez años a un estudio cuidadoso en los Alpes Orientales. F. Mihelčič (1949) ha publicado en España una breve comunicación sobre ello, y tiene concluido un manuscrito con una serie de nuevas descripciones y otro más amplio que trata de la Ecología de los tardígrados terrícolas.

Ya hace más de veinticinco años, E. Reisinger hizo el sorpren-

dente descubrimiento de que hay turbelarias exclusivamente terrícolas. Sus trabajos, que se basan en muestras recogidas en la zona no devastada por los glaciares de la vertiente oriental de los Alpes, han dado a luz un número considerable de especies de este grupo, que viven edáfica o semiedáficamente. Las investigaciones realizadas en el Norte de Europa y en aquellas partes de los Alpes intensamente cubiertas por los hielos en los períodos glaciares, indican que las catástrofes climáticas de los mismos aniquilaron la fauna autóctona de turbelarias terrestres del país en gran parte de nuestro continente, y que sólo pocas especies pudieron poblar de nuevo las superficies de terreno abandonadas por los hielos en el período postglaciar. H. An der Lan está ocupado actualmente en el estudio detenido de estas relaciones, así como de la ecología de las turbelarias terrícolas de los Alpes Orientales.

De los metazoos más pequeños del suelo los mejor estudiados son, con mucho, los nemátodos. El inventario de las especies de nemátodos terrícolas está abarcado perfectamente en Europa por numerosos trabajos, entre otros los de Man (1884 y otros), Hoffmänner y Menzel (1915), Micoletzky (1922), W. Schneider (1939), Franz (1942) y, en época reciente, por dos grandes publicaciones de Overgaard (1948, 1949). Sin embargo, también en este caso queda aún mucho por hacer, puesto que los habitat especiales de las sinusias de nemátodos, por ejemplo los residuos orgánicos en rápida descomposición, todavía son conocidos de un modo completamente insuficiente. Así, F. Paesler (1946) pudo descubrir todavía hace pocos años numerosas especies de gusanos filiformes nuevas para la ciencia, en el estudio de muestras de estiércol de establo, y Hg. Sachs ha deducido por vez primera en los últimos tiempos, conclusiones totalmente sorprendentes del estudio detenido de los nemátodos en los excrementos de buey. Como primer resultado de sus trabajos ha aparecido hace poco una revisión de los Buonematinae (1949), y Hg. Sachs ha confeccionado en forma de manuscrito un estudio completo sobre los nemátodos en los excrementos de buey. Mi colaborador P. Gunhold estudia actualmente las comunidades de nemátodos en la madera podrida y en los musgos de los árboles, y ha hecho también en este punto hallazgos sensacionales. Tal vez el más amplio progreso corresponda a la investigación de los gusanos filiformes perjudiciales para las plantas, que, como los habitantes de materias en putrefacción, no pertenecen a la fauna normal del suelo o edafón de Francé (1912). En las especies fitopatológicas la siste-



mática está a punto de sobrepasar la distinción de las especies. H. Goffart (1948) está ocupado actualmente con el problema de la filogenia y de las razas en los nemátodos parásitos de las plantas, para así llevar la sistemática de estos gusanos primitivos a un estado que corresponda al de aquellos grupos de invertebrados más profundamente estudiados.

El conocimiento sistemático de los animales del suelo de mayor tamaño es aún tan insuficiente, que se describen constantemente nuevas especies de todos los grupos de invertebrados representados en la fauna del suelo, incluso en los países de Europa bien estudiados.

Completamente insatisfactoria es especialmente la investigación de los enquistados, que fueron últimamente estudiados con detenimiento por H. Backlund (1946, 1947) en el territorio escandinavo. Igualmente están aún muy mal estudiados los harpacticidas, que pertenecen a los microcrustáceos y viven semiedáficamente en la Föria húmeda y bajo el césped de musgo mojado.

Está claro para todo biólogo del suelo que se halla ocupado detenidamente de este grupo, que la sistemática de los ácaros se encuentra completamente en formación. Es cierto que en los últimos diez años se ha realizado un trabajo enorme en el aspecto sistemático de los ácaros por Grandjean, Oudemans, Sellnick, Trägårdh, Witzthum, Willmann y otros, y, sin embargo, la investigación cuidadosa de los suelos de los países europeos mejor estudiados, da a luz todavía grandes series de nuevas especies, como lo demuestran el estudio por Schweizer (1949) de los ácaros del Parque Nacional Suizo de Engadin, así como los estudios, por desgracia en forma manuscrita, de C. Willmann sobre muestras del Hohen Tauern y de los suelos panónicos, recogidas por mí (ver Franz, 1943). En Admont, mi colaborador H. Walcher se dedica actualmente a la sistemática de los ácaros, y encuentra también continuamente en nuestras muestras de los Alpes Orientales especies no descritas. En estiércol de establo y en el «compost» en descomposición, mi colaborador E. Leitner (1946, 1949) ha identificado y descrito numerosas especies nuevas de ácaros. Se trata, sin lugar a duda, de formas especializadas para este habitat, de lo cual resulta que las acumulaciones de sustancias orgánicas en descomposición albergan comunidades (agrupamientos) específicos de ácaros. Tampoco está aún terminada la investigación de éstos, como lo demuestra una breve comunicación de W. Hirschmann recibida por mí hace poco, según la cual el autor

distingue ya, sólo en el género *Digamasellus*, más de cuarenta especies.

El estudio de los colémbolos del suelo ha hecho progresos relativamente rápidos en los últimos años, sobre todo con los trabajos,



FIG. 1.—Armarío de análisis con aparatos de separación según Berlese. Las muestras y huyen en sentido opuesto a la luz. Se reúnen en los recipientes de temperatura de la habitación, con lo cual los pequeños animales abandonan las muestras y huyen en sentido opuesto a la luz. Se reúnen en los recipientes de cristal debajo de los embudos.

muy detenidos, de H. Gisin y el estudio, que excede ampliamente su marco geográfico, de los apterigotos de Polonia por J. Stach (1947, 1949), así como, finalmente, con numerosas publicaciones de Denis y otros investigadores. En Europa Central se conocen relativamente bien también los animales invertebrados mayores del suelo,

lumbrícos, gástrópodos, isópodos terrestres, quilópodos, miriápodos y los insectos pterigotos terrícolas. Sin embargo, en la misma Europa Central queda mucho por conocer, como lo demuestra el reciente descubrimiento, por K. Strenzke (i. l.), de numerosos tenidépodos de la tribu de los ortocladinos, que viven subterráneamente en estado de larva, y el descubrimiento por el especialista V. Machulka, fallecido hace algún tiempo, de casi 200 especies nuevas de seláfidos y cidménidos, en su mayor parte terrícolas. Por lo demás, los resultados de Machulka aún no se han dado a la luz a causa de las limitadas posibilidades de publicación, y hay el peligro de que este inmenso trabajo de especialista no se conserve para la posteridad.

Lo que hasta aquí se ha dicho sobre la investigación de la microfauna del suelo se refiere a la Europa Central. En las zonas mediterráneas, que albergan un número incomparablemente mayor de especies, y que además han sido mucho menos investigadas, existen lagunas de conocimiento mucho mayores. Para estas zonas faltan además totalmente claves sistemáticas en las cuales se estudie sumariamente la totalidad de las especies conocidas de un grupo zoológico o, por lo menos, de una esfera taxonómica más amplia. Por eso sólo el especialista que dispone de la totalidad de la literatura correspondiente y posee una buena visión de conjunto sobre el grupo por él estudiado puede determinar con seguridad el material de los países del Sur de Europa. El número de tales especialistas es hoy muy escaso en todo el mundo y están muy sobrecargados de material. Existe por ello un gran peligro de que se detenga de un modo definitivo el progreso ulterior de la investigación edafozoológica, por la falta de especialistas que estén en condiciones de poder determinar con seguridad mayores cantidades de material. Esta situación debe atajarse con toda energía, porque también en España el gran interés actual sobre las cuestiones edafozoológicas sólo puede dar lugar a resultados científicos decisivos, cuando se formen en el mismo país especialistas para la determinación de los grupos animales particulares.

La determinación exacta de los animales del suelo aislados de diferentes muestras del mismo, constituye en verdad el supuesto para la aclaración de todas las cuestiones edafozoológicas ulteriores.

### 3. EL SUELO COMO ESPACIO VITAL.

El espacio vital de los animales terrícolas es el suelo en el más amplio sentido, con inclusión de la «Förna» y, además, de la capa de musgo que se desarrolla sobre el mismo, cuya población se detiene en gran parte ya en la capa superior del suelo, ya en el césped de musgo. Este espacio vital es el soporte de la vegetación y, por ello, fundamento de nuestra alimentación, así como de la producción de muchas materias primas indispensables para la industria. No es de extrañar que se le haya prestado la máxima atención en los años pasados, de extrema escasez en estos productos naturales; La investigación del suelo como espacio vital de los organismos terrícolas ha hecho en los últimos tiempos grandes progresos. Esto es de extraordinario valor para la Biología del suelo, pues las condiciones ambientales en el espacio vital endógeo son tan diferentes de las del epígeo, que su exacto conocimiento constituye la base para la investigación ecológica del edafón. Sólo la capa superior del suelo de poco espesor está poblada por seres vivos. Esta capa animada alcanza, en el mejor de los casos, dos a tres metros, si se prescinde de huecos, grietas y corrientes de agua subterránea, pero hasta esa profundidad sólo penetran muy pocos invertebrados terrícolas, especialmente los lumbrícidos, mientras la gran mayoría de los organismos edáficos se limitan a la capa superior húmica, el horizonte A del suelo, y sólo pueblan una capa superior cortical de 20 a 30 centímetros de espesor. La corteza superior del suelo, intensamente animada, no es compacta, sino que posee una estructura esponjosa, que se distingue por la existencia de innumerables espacios vacíos de muy diverso tamaño entre las partículas irregulares del suelo. Sobre la estructura de los suelos naturales existe un gran número de trabajos, entre los cuales han de destacarse especialmente los de Nitzsch (1936, 1938) y de Morgenweck (1941). De éstos resultan para los suelos sanos las siguientes normas generales:

1. La capa superior del suelo es normalmente la más rica en poros; el volumen de los mismos disminuye de la superficie al interior.

2. En suelos fértiles el volumen de los poros en la capa superior representa el 50 por 100, pero puede exceder del 60 por 100. Los suelos con menos del 40 por 100 de volumen de poros han de califi-

carse de compactos y muestran siempre, como indica su investigación biológica, una población insuficiente de microorganismos.

3. Las tierras con césped permanente, en especial los suelos de pradera, poseen una estructura más rica en poros que las tierras de

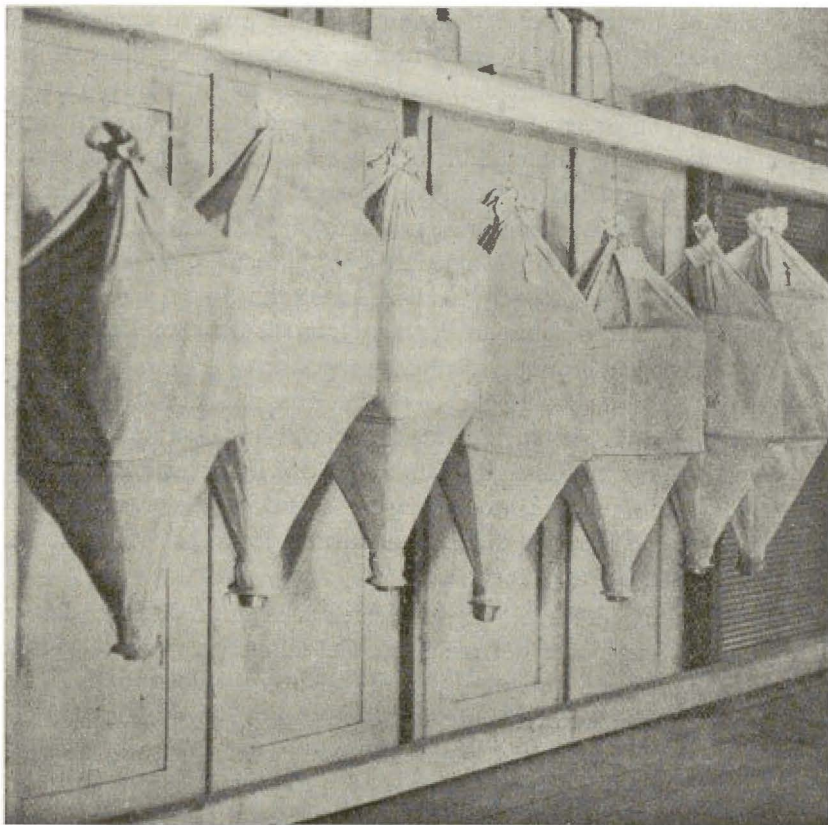


FIG. 2.—Aparatos de separación para muestras más amplias según el sistema Winkler-Moczarsky. También en éstos se secan lentamente las muestras a la temperatura de la habitación, con lo cual los pequeños animales abandonan el substrato y caen en el vaso ajustado al extremo inferior del aparato

labor. Esto se relaciona con el mayor número de raíces que las atraviesan y con su más intensa colonización por seres vivos.

4. Las condiciones estructurales en la Förna y capa F de los suelos de bosque son difíciles de determinar exactamente. Sin embargo, su fuerte compresibilidad indica ya que su consistencia es

casi siempre muy mullida. El suelo mineral que se encuentra debajo de la Förna puede poseer un volumen de poros muy distinto.

A los poros del suelo corresponde una función diferente según su tamaño y forma. Según F. Sekera (1941, 1943), los grandes tienen por objeto asegurar la aireación del suelo, y con ello la respiración de los organismos del mismo y de las raíces. Los poros de tamaño medio (0,003 a 0,03 mm.) funcionan como un sistema de conducción de agua para asegurar la economía de la misma, pues en estos capilares medios el movimiento del agua no es ni demasiado rápido ni demasiado lento. Por último, los poros finos (de menos de 0,003 mm.) retienen firmemente el agua del suelo y suministran así la reserva acuosa para los organismos de éste durante el tiempo de sequía. En suelos con estructura óptima, los poros del suelo se dividen, según Sekera (l. c.), en tres categorías, con arreglo al tamaño, de tal manera que un tercio aproximadamente del volumen total de poros corresponde a capilares gruesos, medios y finos. Si el volumen total de los poros en los suelos mullidos es grande en comparación con la sustancia sólida del suelo, los distintos poros son de pequeño diámetro. Esta pequeñez de los capilares del suelo, que impide el rápido movimiento del agua, es una de las características principales que distinguen fundamentalmente los espacios vitales endógeos de los epígeos y acuáticos.

El microclima del suelo es extraordinariamente distinto del que domina en la superficie del mismo. Sólo una capa muy delgada de la tierra, en la parte superior, permite el acceso limitado de la luz, y con ello la vida autótrofa de los organismos vegetales. Las condiciones de temperatura del suelo dependen en alto grado de su situación. Cambian con el tipo de suelo, la cubierta de vegetación y las condiciones del terreno; sin embargo, existen ciertas normas generales. Así, la variación de temperatura es siempre más extrema en la superficie del suelo que a mayores profundidades. Esto se explica porque en las superficies libres del suelo es más activa la radiación en ambos sentidos, y por eso también tiene lugar allí un mayor calentamiento y enfriamiento. Los cambios de temperatura se propagan de la superficie al interior del suelo principalmente por conducción térmica, de tal manera que, según la mejor o peor conductividad del sustrato, se dejan sentir en las zonas profundas más o menos rápidamente. Cuanto más rico es un suelo en poros, tanto más lenta es en general la propagación del calor y más escasa la

acción en profundidad de las oscilaciones de temperatura que tienen lugar en la superficie.

La humedad del suelo guarda una cierta relación con las condiciones de temperatura, puesto que los suelos que se calientan más, prescindiendo de la menor humedad relativa de la atmósfera, ceden, a temperatura superior, más humedad por evaporación e intercambio gaseoso que los que sufren un calentamiento menor. De un modo completamente general, la evaporación en el espacio vital endógeo es mucho menor que en el epigeo, pues la existencia de una reserva acuosa líquida en los capilares del suelo asegura un contenido elevado y constante de agua en la atmósfera de éste y, además, el movimiento del aire en los poros se reduce al mínimo por la pequeña difusión gaseosa. Sin embargo, el grado de humedad del substrato está sometido en muchos suelos a grandes oscilaciones anuales. Los períodos largos de sequedad se hacen sentir en el interior del suelo lo mismo que las fuertes precipitaciones, en virtud de las cuales se llenan de agua temporalmente no sólo los poros medios, sino también muchos de los grandes. Tales oscilaciones tienen, naturalmente, efectos más extremos en los suelos que propenden a la desecación que en los que retienen tenazmente el agua.

Ciertos suelos se encuentran bajo el influjo de los niveles variables de las aguas subterráneas. Un alto nivel del agua subterránea mantenido mucho tiempo, o el encharcamiento de un suelo, producen el completo llenado de todos los capilares por debajo del nivel de agua e impiden con ello el intercambio de gases, que es indispensable para la inmensa mayoría de los organismos endógeos. Los niveles de agua subterránea periódicamente elevados excluyen, por eso, la existencia de numerosas especies de animales terrícolas en los suelos en cuestión. No menos duradera es la acción de la diversa intensidad de iluminación de la superficie del suelo, puesto que la cantidad de energía solar incidente influye decisivamente en la marcha de la temperatura y humedad de la capa animada del mismo.

De gran importancia para la vida del suelo es también la composición esencialmente distinta de la atmósfera del suelo en relación con la exterior. Aquélla constituye una mezcla gaseosa que, entre otras cosas, posee un contenido menor de oxígeno y considerablemente mayor de dióxido de carbono que el aire en que nosotros vivimos. En todo suelo existe una disminución de la cantidad de dióxido de carbono hacia la superficie y un aumento de la de oxígeno hacia

el interior. Ambas variaciones son tanto mayores cuanto peor es la aireación del suelo. Russel (1936) ha medido 0,34 por 100 de  $\text{CO}_2$  a 15 cm. de profundidad en una tierra de labor y 1,46 por 100 en el suelo de pradera, mientras que en los mismos suelos encontró a 25 centímetros de profundidad 0,45 y 1,64 por 100 de  $\text{CO}_2$ , respectivamente. A profundidades más grandes, el contenido en  $\text{CO}_2$  de la atmósfera del suelo puede elevarse hasta el 8 por 100.

La base alimenticia de los organismos del suelo la constituye la sustancia orgánica viva y muerta presente en el sustrato. Muchos pequeños animales edáficos se alimentan de bacterias, hongos y algas del suelo, y las especies carnívoras también de otros animales del mismo. Sin embargo, puesto que los animales de presa y microbios vegetales se alimentan en último término de la masa de raíces y restos vegetales, así como de las sustancias húmicas formadas a partir de aquéllas, la totalidad de las sustancias de desecho de los organismos, juntamente con la masa viva de raíces de la vegetación que cubre el suelo, constituyen la base alimenticia de la vida del mismo.

Los restos orgánicos tienen una naturaleza muy diferente condicionada por la situación, en dependencia del clima, vegetación, tipo de suelo y, no en último lugar, de las acciones de los microorganismos del suelo, como lo han indicado ya P. E. Müller (1887) y, en época reciente, H. Hartmann (1944) y W. Kubiëna (1948), entre otros. La rapidez con que tiene lugar la descomposición de los residuos vegetales tiene como causa la digestibilidad de las sustancias correspondientes para los pequeños animales del suelo. En este aspecto ya los restos frescos de plantas diversas se comportan de manera extraordinariamente distinta, como sabemos por las investigaciones de Wittich (1933, 1939, 1943), Franz y Leitenberger (1947) y otros autores. La Fôrna de hojarasca es en general más fácilmente destructible que la Fôrna de pinocha, los restos de plantas herbáceas más fácilmente que los de leñosas; existiendo, sin embargo, enormes diferencias entre las distintas especies dentro de estos grandes grupos. Normalmente, los animales del suelo sólo parecen alimentarse de restos vegetales que han sido ya atacados por hongos y bacterias, como lo ha demostrado, por ejemplo, Romell (1935) en los ciempiés. Los restos fácilmente destructibles se transforman totalmente en los bosques de Centroeuropa de un período de caída de hojas a otro, mientras los más difícilmente destructibles conducen a la acumulación creciente de una capa de humus bruto no descompuesto. Tal sucede, sobre todo, en las plantaciones artificiales puras y biológica-



mente desfavorables de abetos y pinos, y conduce, especialmente cuando la humedad es demasiado pequeña o grande, a un rápido empeoramiento del suelo. Unida a ello va la pérdida de la composición armónica de la fauna del suelo, mientras determinados animales, por ejemplo, la mayor parte de las lombrices (ver Fenton, 1947), desaparecen completamente. G. Gretschy ha hecho valiosas observaciones al respecto en un trabajo realizado siguiendo instrucciones de W. Kühnelt, en las montañas calizas alrededor de Lunz, en la Austria Baja. Ellas muestran que en los monocultivos de abetos en suelos rendsinicos tiene lugar, después de la tala y repoblación, un fuerte desarrollo inicial de la fauna del suelo, simultáneo con el del césped y altos arbustos; entre los ocho y trece años después de la repoblación se alcanza un óptimo en virtud de la creciente densidad de población y diversidad de especies, y luego disminuye más y más, al mismo tiempo que desaparece progresivamente la vegetación del suelo. En este desarrollo general constituyen una excepción los colémbolos. Ellos presentan máxima densidad de población en los suelos fuertemente poblados por hongos y en viejas formaciones de abetos, como he podido yo mismo observar muchas veces.

La masa de raíces vivas se concentra, como la sustancia orgánica muerta, en las capas superiores del suelo. La ramificación más superficial de las raíces se encuentra bajo la vegetación de césped.

En ocho parcelas experimentales, en parte segadas y en parte pastadas, Klapp (1943) encontró el 90,05 por 100 de las raíces en la capa superior de 5 cm. de espesor del suelo y únicamente el 0,5 por 100 a más de 30 cm. de profundidad. Por el contrario, las plantas cultivadas, especialmente cuando se trata de monocultivos (ver Kaserer, 1910), profundizan más en el suelo, algunas hasta dos metros y más. Los suelos de bosque están también atravesados por las raíces hasta una profundidad mayor que los suelos de pradera, aunque en aquéllos la masa principal de las raíces se encuentra en las capas superiores del suelo. Klapp (l. c.) determinó la masa total de las raíces en praderas explotadas intensivamente, y obtuvo de 310 a 777 g. de sustancia seca por metro cuadrado de superficie. La masa total de raíces en las tierras de labor queda más o menos por debajo de ese valor según el modo de explotación, mientras que en los suelos de bosque está sometida a grandes variaciones según las condiciones de crecimiento, edad de las formaciones y tamaño de los árboles.

Se ha tratado muchas veces de sacar conclusiones sobre las reservas alimenticias existentes en los suelos para el edafón, a partir del

contenido total de aquéllos en sustancia orgánica. A este fin Wollny ha determinado ya el contenido total en carbono en suelos diversos, y obtenido así valores tan extremos como 0,34 por 100 para el suelo arenoso de lehm de un viñedo del Sur de Alemania y 77,29 por 100 para un suelo turboso bajo de la turbera danubiana de Nauenburg (Baviera). Sin embargo, los números así hallados por métodos químicos no proporcionan al biólogo puntos de apoyo seguros. La vida del suelo depende principalmente, no de la cantidad de sustancia orgánica presente en el suelo, sino, como vimos, de la calidad de la misma, y, además, de las condiciones de humedad y temperatura que permiten el aprovechamiento de las reservas alimenticias. Según los ensayos de laboratorio realizados por mí con lombrices, parece ser que las sustancias húmicas no pueden ser utilizadas completamente por los organismos del suelo, sino que queda un cierto resto indigestible de humus estable aún en condiciones ambientales óptimas. De todos modos, en el estado actual de nuestros conocimientos no podemos indicar en qué medida pueden ser de hecho aprovechadas por el edafón en un caso particular las sustancias orgánicas existentes en el suelo.

La bibliografía sobre los hechos principales que se refieren al suelo como ambiente de los organismos terrícolas ha aumentado mucho en los últimos tiempos. Se distribuye en publicaciones sobre Edafología, Climatología, Agricultura y Silvicultura, y por ello apenas puede hacerse otra cosa que darle una rápida ojeada. La breve descripción precedente sólo pudo tener en cuenta una parte de esa bibliografía. Finalmente, hagamos resaltar que, a pesar de la gran cantidad de publicaciones existentes, el suelo, como espacio vital, no está en modo alguno investigado exhaustivamente. Al contrario, parece que la Edafología ha entrado en la última década en una etapa completamente nueva de su desarrollo, reconociéndose cada día más que no sólo el suelo influye en la vida de las plantas y en el desarrollo de los organismos que lo pueblan, sino que también aquél, por su parte, debe su formación principalmente a las manifestaciones vitales de plantas y animales.

#### 4. LA CONTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS A LA FORMACIÓN Y MEJORA DEL SUELO.

La investigación de los procesos de formación y desarrollo del suelo en el ambiente natural, ha permitido ver cada vez más clara-

mente que se trata de procesos en los cuales el edafón participa decisivamente.

Ya en el proceso fundamental de la erosión química y mecánica de las rocas los organismos del suelo desempeñan un papel decisivo.

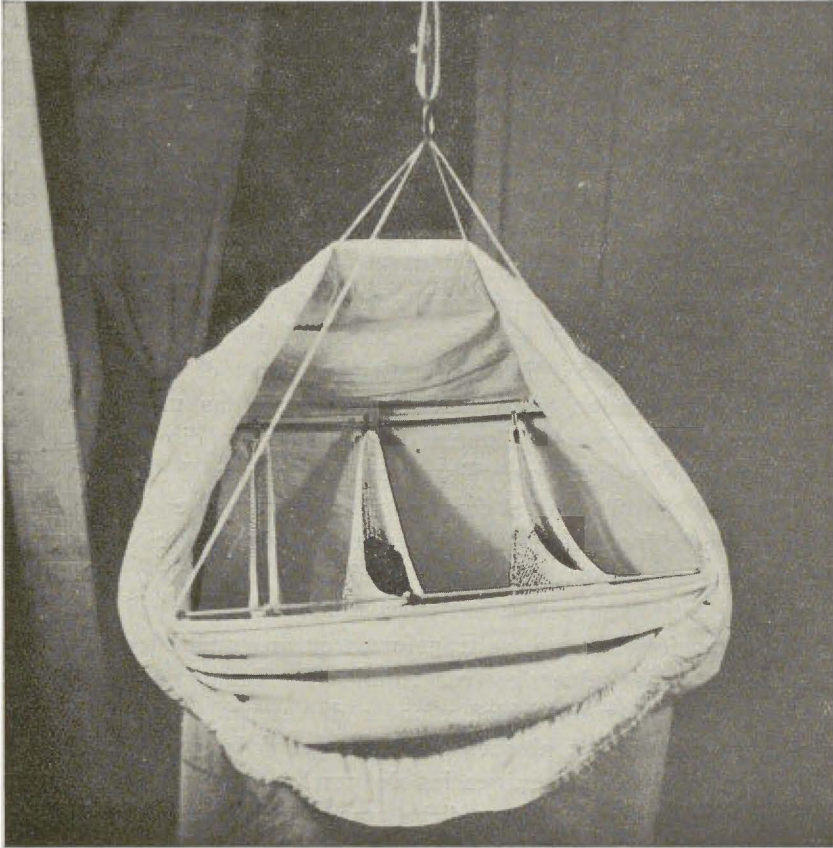


FIG. 3.—Un aparato de separación según el sistema Winkler Moczarsky, abierto. La muestra de suelo está colgada para secar en saquitos de malla fuerte en el interior de los aparatos.

Incluso en parajes rocosos extremos viven también junto a diferentes algas, principalmente cianofíceas, animales pequeños, como protozoos, rotatorios, nemátodos y tardígrados. F. Falger (1922-23) ha llamado litobiontos a estas sinusias de pioneros, y demostrado que muchos de sus miembros pueden disolver la sustancia mineral de la

mayor parte de las rocas, produciendo de esta manera pequeñas desigualdades en la superficie de las mismas y fijando en ellas el polvo fino con ayuda de secreciones mucilaginosas. Estos raquíuticos comienzos de la formación del suelo hacen posible el establecimiento de líquenes, luego también de musgos, y con éstos de una microfauna rica en especies. Los pequeños animales que se nutren de los líquenes y musgos eliminan los restos no digeridos de sus alimentos como excrementos húmicos y proporcionan así el primer húmus coprógeno. W. Kubiëna (1943) ha descrito de un modo impresionante estas etapas de la formación del suelo y las siguientes, al estudiar las fases del desarrollo de los suelos rendsínicos y, posteriormente (1948), de otros tipos de suelos. A los distintos grados de desarrollo del suelo corresponden comunidades de organismos (agrupamientos) totalmente definidas. Sólo cuando el suelo formado ha alcanzado un cierto espesor y con ello se hace posible la huída de los animales a capas más profundas de aquél ante la sequedad, el calor y el frío, pueden aparecer las lombrices. Estas se extienden por todo el sustrato, toman de él sustancias orgánicas e inorgánicas, las mezclan en sus organismos digestivos y eliminan los residuos no digeridos en forma de complejos húmico-arcillosos principalmente (L. Meyer, 1943; W. Kubiëna, 1948). Así el fino «moder», formado en los primeros estadios de la formación del suelo con los excrementos de artrópodos, tales como ácaros, ciempiés, diplópodos e insectos, y que sólo contiene relativamente poca sustancia mineral y posee un escaso poder de retención de agua, se transforma en un «mull» de gran valor, rico en sustancias minerales (ver también F. Hartmann, 1944). Este, por su mayor higroscopicidad y poder de retención de agua, comunica por primera vez al suelo aquellas propiedades favorables que satisfacen las elevadas exigencias de muchos organismos terrícolas en cuanto al medio. Sólo en dicha etapa de la formación del suelo pueden constituirse las biocenosis que encontramos como habituales en los buenos suelos. La actividad mejoradora del suelo de las lombrices no se limita, sin embargo, a la formación de complejos de arcilla y humus, es decir, de «mull»; ellas mezclan también las capas superiores e inferiores del suelo, en lo cual participan con una intensidad especial determinadas especies de lumbrícidos (ver Franz, 1943/2; Evans, 1948).

El suelo mullido y mezclado por la actividad de los animales del mismo, es fijado biológicamente por los microbios vegetales y las raíces de las plantas superiores, como lo ha demostrado Sekera (1941),

y así preservado de la compacidad debida al enlodamiento o la presión. Como ya reconoció Koffman (1934), en condiciones normales de humedad las bacterias están pegadas a las partículas del suelo en todas las colonias, rodeándolas por completo, y esto mismo hacen los hongos con una red completa de hifas. De la misma manera actúan las mallas de raíces de las plantas superiores, en las cuales las secreciones mucilaginosas de los pelos radiculares (véase, entre otros, A. Frey-Wyssling y K. Mühlethaler, 1949) pegan éstos a los terrones del suelo. De ello resulta que los microbios vegetales y las raíces de las plantas confieren estabilidad a la estructura grumosa de la tierra creada por los animales de la misma y llamada «gare» (1).

Esta permanencia de la «gare» es una característica esencial de los suelos fértiles, y su obtención y conservación constituye uno de los fines principales de la Agricultura y Silvicultura.

Los restos de la vegetación, incluida la masa de raíces, sirven como alimento a un gran número de pequeños animales terrícolas. Estas sustancias de desecho son divididas mecánicamente por los animales al tomarlas como alimento, y, en el proceso de la digestión, con la colaboración de microbios vegetales, o se descomponen completamente, o se transforman en sustancias del cuerpo o son eliminados en forma más o menos humificada como excrementos. Ya H. von Post (1861) y P. E. Müller (1887) descubrieron la naturaleza zoógena de la parte húmica de la mayor parte de los suelos, y sus hallazgos han sido confirmados en todo momento por las nuevas investigaciones. Si no se produce la destrucción mecánica y química de los restos vegetales por la microfauna del suelo, entonces tiene lugar ya la descomposición incompleta eumicético-aerobia y anaerobia, o finalmente, en las condiciones más desfavorables, una acumulación de masas de Förna, como lo han demostrado las extensas investigaciones sobre el humus de los bosques de F. Hartmann, por desgracia aun no publicadas. Antes de su transformación por las lombrices, los excrementos húmicos de los animales del suelo se conservan en el humus zoógeno, en su forma primitiva. Puesto que ésta es característica para cada uno de los grupos taxonómicos de los animales del suelo, se puede como lo ha demostrado Kubiëna (1948, y ya antes) determinar por la forma de los excrementos, qué grupos de anima-

---

(1) «Gare» es una palabra alemana sin equivalente en español; significa una estructura del suelo caracterizada por condiciones físicas y biológicas óptimas, desde el punto de vista de la fertilidad.

les han intervenido en un caso particular en el proceso de humificación. La investigación comparativa de los excrementos de los diferentes animales del suelo por métodos ópticos, en corte delgado, y por métodos químicos, indica que los restos alimenticios eliminados por las distintas especies de animales se descomponen muy desigualmente. A causa de ello los isópodos y diplópodos, por ejemplo, contribuyen al proceso de humificación muchísimo menos que los oribátidos y ciertas larvas de dípteros.

Nosotros hemos ensayado además las acciones de una serie de especies animales del suelo en la descomposición de los restos vegetales, de tal manera que en nuestros experimentos de laboratorio alimentábamos a una sola especie animal con restos frescos y no atacados aún por microbios vegetales, también de una sola especie vegetal (véase Franz y Leitenberger, 1947). De ello resultó que los animales toman como alimento cantidades distintas de los tejidos diferentemente atacables, y que el humus zoógeno así formado exhibe una naturaleza variable con la alimentación. El humus tenía siempre el carácter de los ácidos húmicos pardos cuando se empleaban como alimento hojas secas de bosque, mientras que ofrecía un gran parecido con los ácidos húmicos grises si el alimento eran restos herbáceos. De nuestros experimentos resultó, además, que los animales almacenan en forma húmica en sus excrementos, no solamente la lignina y sustancias afines de difícil descomposición que se consideraron hasta ahora muchas veces como las únicas sustancias de partida para la formación del humus, sino que están capacitados evidentemente para producir sintéticamente, durante los procesos de la digestión, sustancias de carácter húmico a partir de materias primitivas muy distintas. J. van der Drift (1948) encontró en la investigación microscópica de los excrementos de *Cylindrojulus silvarum*, que éstos, en su mayor parte, están formados todavía por pequeñas partículas de hojas, y dedujo de ello que los pequeños animales del suelo no son capaces de formar humus por sí mismos. Sin embargo, esta conclusión es errónea, pues su observación no representa prueba alguna contra la descomposición húmica de los residuos vegetales por los pequeños animales, sino sólo una confirmación del hecho, hace mucho tiempo conocido, de que los diplópodos transforman peor su alimento en la digestión que la mayor parte de los demás animales terrícolas.

De nuestros ensayos se desprende claramente que tanto las especies vegetales como fuentes de materias primas, como también



FIG. 4.—Las lombrices de tierra (*Allolobophora rosea*) mezclando en un experimento de laboratorio estiércol de establo con la tierra humosa de encima y el suelo bruto estéril subyacente (arena marina calcinada).] En el cilindro de cristal de la izquierda se depositó estiércol descompuesto, en el de la derecha estiércol fresco. El experimento se realizó del 23-7-1947 al 25-8-1948.

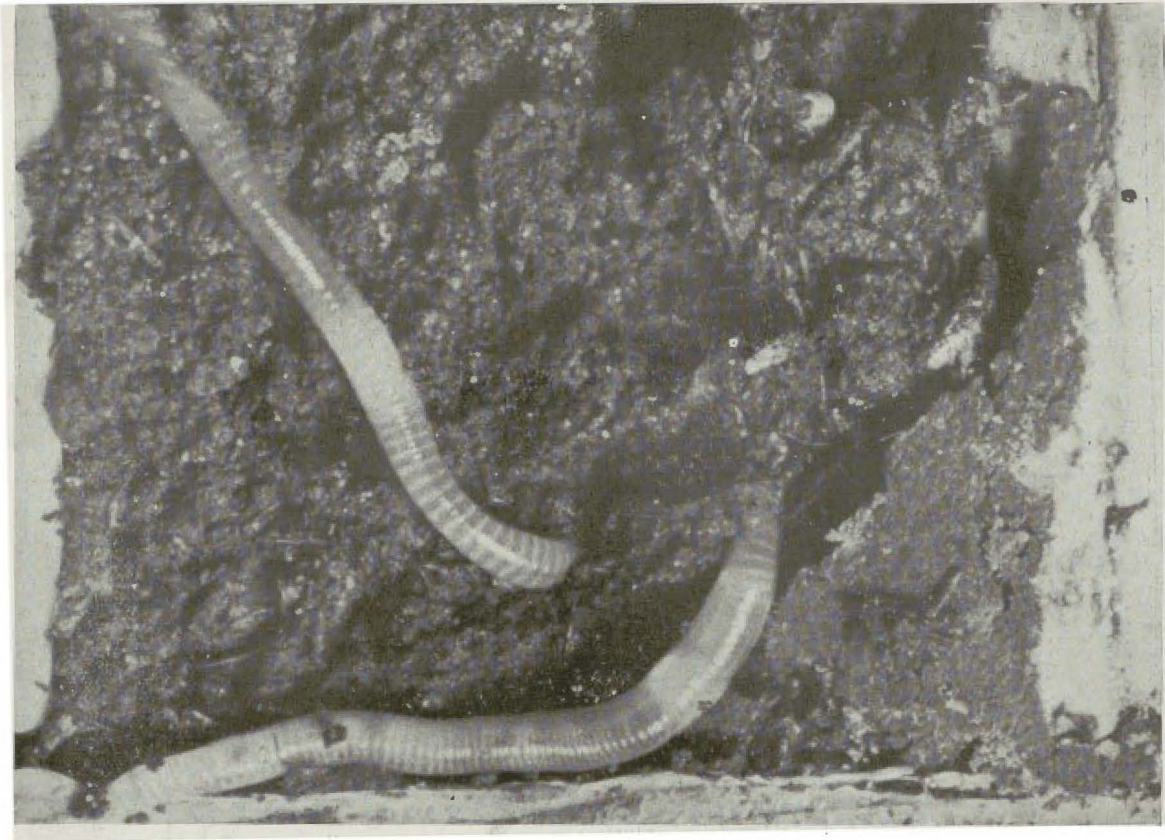


FIG. 5.—Lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) humificando estiércol fresco en un experimento de laboratorio.  
(Microfot. Ew. Schild, Viena.)



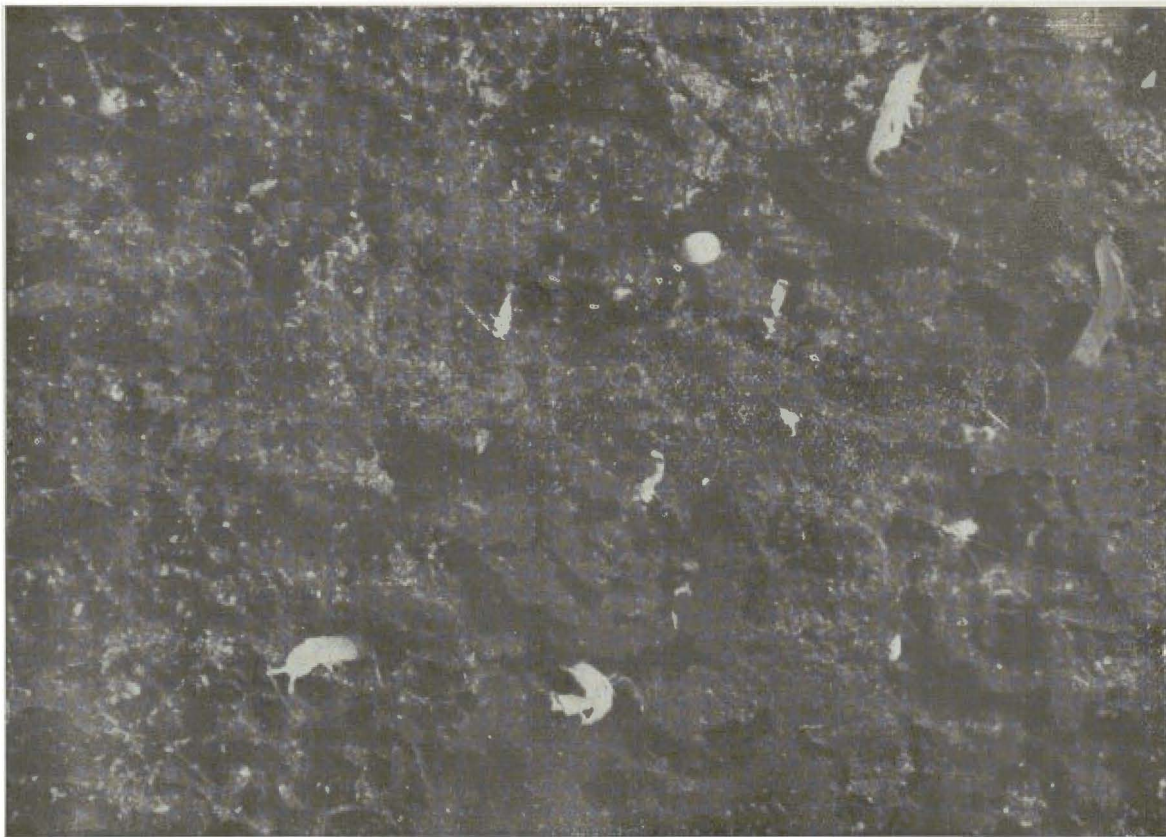


FIG. 6.—La tierra humosa, fértil, está poblada de innumerables animales del suelo. La fotografía muestra Colémbolos (especies de *Onychiurus*) y un *Enchytraeido*. (Microfot. Ew. Schild, Viena.)



FIG. 7.—Larvas de Dipteros (*Bibio marci*) en un experimento de laboratorio comiendo hojarasca de *Alnus incana*, separando los restos de alimentos no digeridos en forma de deyecciones humosas. (Microfot. Ew. Schild, Viena.)

las especies de pequeños animales formadores de humus, influyen decisivamente en la naturaleza de las sustancias húmicas formadas en el suelo. A esto se une un tercer elemento: el clima, que, a través de los factores calor y humedad, ejerce también por su parte un influjo determinado en la marcha de las reacciones en los procesos de descomposición de los restos orgánicos.

Según todo lo que sabemos actualmente sobre este asunto, la producción de sustancias húmicas predomina sobre la destrucción completa, de un lado en los climas húmedos y fríos, y de otro, en determinadas condiciones en los continentales y cálidos en verano, mientras en los húmedos y calientes óptimos la destrucción de las sustancias tiene lugar tan rápidamente, que casi toda la materia orgánica se descompone hasta llegar a los últimos productos de degradación. Como producto final de descomposición de las sustancias orgánicas resulta dióxido de carbono, que se escapa al aire en estado gaseoso y es transformado de nuevo por las plantas verdes en sustancia viva en el proceso de la asimilación. La cantidad de dióxido de carbono que se desprende en virtud de la respiración del suelo, depende de la intensidad de los procesos vitales que se desarrollan en él, y está sometida a importantes fluctuaciones, según la situación y la época del año. Lundegårdh (1925) señala una producción de dióxido de carbono que oscila entre 1,25 y 23,4 Kg. por hora y hectárea de superficie.

No es posible en el espacio de esta comunicación profundizar más en el estudio de las acciones del edafón en la formación y mejora del suelo. Habría que completar aun lo dicho con muchos detalles importantes; ciertas cuestiones ni siquiera pudieron tocarse; por ejemplo, la acumulación de nitrógeno en el suelo no sólo por los microbios fijadores del mismo, sino también por la masa total, muy importante, de los animales que viven edáficamente. Actualmente trabajamos con intensidad mis colaboradores y yo, y también otros Institutos en la investigación de las acciones de los organismos en el suelo, y sobre todo en el problema de cómo exaltar éstas por la intervención humana en los métodos de cultivo y explotación de aquél. Estos problemas tienen la máxima importancia económica, puesto que su solución permite esperar enormes aumentos en el rendimiento de nuestros suelos cultivables. En Austria podemos ya actualmente dar indicaciones concretas a los labradores y silvicultores sobre las medidas que han de tomarse para la mejora biológica de sus suelos, y está a punto de crearse, sobre la base de los conocimientos obte-

nidos, un servicio oficial para la conservación de la salud del Suelo. Este representa un complemento biológico necesario de las medidas técnicas que actualmente se llevan a cabo en gran escala en los Estados Unidos por el llamado Soil Conservation Service (ver Franz 1949/3).

Por falta de espacio casi no pueden exponerse más que estas breves indicaciones sobre las consecuencias prácticas de la investigación edafo-biológica, puesto que debemos ocuparnos de un complejo de cuestiones mucho más extenso: las comunidades vitales en el suelo.

##### 5. LAS COMUNIDADES EDÁFICAS DE ANIMALES

Para una primera ojeada sobre las condiciones de colonización del suelo por los pequeños animales, basta en la mayor parte de los casos determinar la llamada «densidad de población», es decir, el promedio de individuos que viven en un volumen determinado de una capa del suelo netamente definida. A consecuencia del tamaño y acción extraordinariamente distintos, así como de las necesidades diferentes de espacio vital de los grupos de animales que pueblan el suelo, nada diría la reunión de todos los minerales terrícolas en un sólo número, por lo cual se deben determinar e indicar separadamente las densidades de población si no para cada una de las especies sí por lo menos para los grandes grupos sistemáticos. Mucho autores han elegido como unidad de volumen un litro o un decímetro cúbico de suelo. Sin embargo, es más conveniente referir el número de animales a una superficie determinada relativamente grande; lo mejor al metro cuadrado, y a los horizontes del perfil del suelo en la Förna, capa húmica superior con gran número de raíces, capa húmica inferior y capa superior del suelo, con indicación del espesor correspondiente en cada caso. Esto da una idea mucho más exacta, sobre todo de la población de la Förna, que la obtenida relacionando con el litro o el decímetro cúbico, la cual en las grandes fluctuaciones estacionales o locales a las que está sometido el espesor de aquélla, por ejemplo, en los bosques de Centro-Europa, puede representar en un caso la superficie de un decímetro cuadrado y en otro, por el contrario, de un metro cuadrado.

La densidad de población de los organismos del suelo varía ya mucho dentro de un pequeño espacio, porque mientras en puntos determinados se acumulan a veces distintos representantes del edafón,

en puntos vecinos de tales aglomeraciones hay con frecuencia sólo relativamente pocos individuos. A pesar de ello, tomando muestras mixtas, recogidas en varios puntos dentro de una superficie uniforme

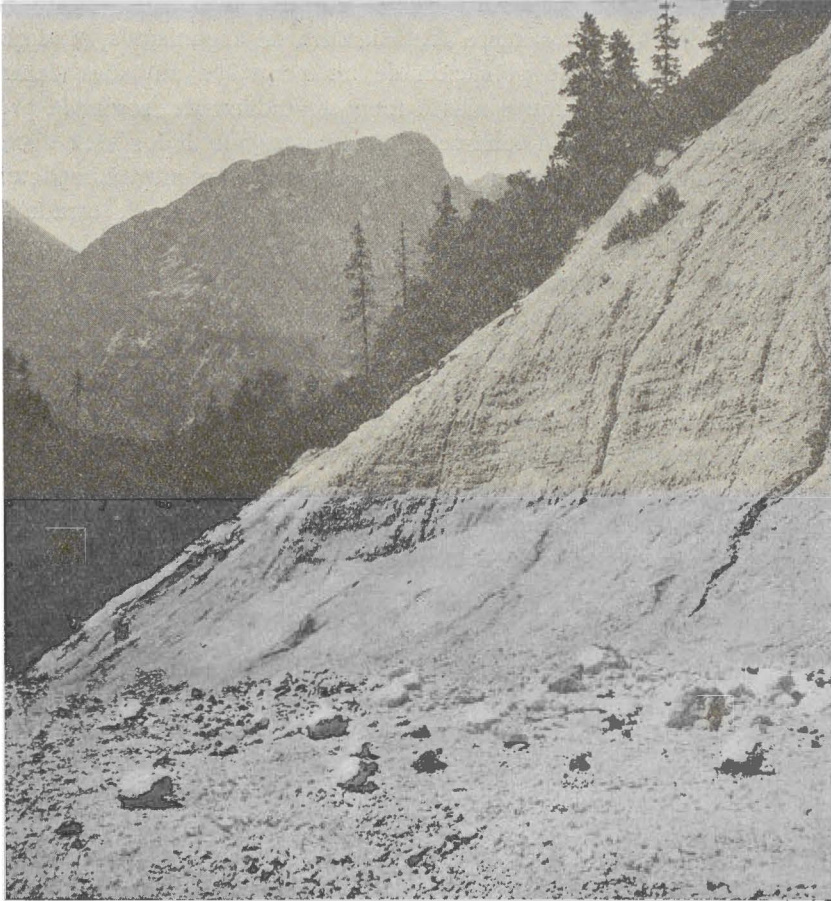


FIG. 8.—Todos los años se registran en todo el mundo enormes pérdidas de suelo por la erosión. La fotografía presenta un ejemplo de los Alpes Orientales (Gesäuse); la tala de bosque, como aparece al fondo de la fotografía, aumenta extraordinariamente el peligro de erosión.

de pocos metros cuadrados, con ayuda de cilindros o bastidores metálicos, es posible obtener valores reproducibles para la densidad de población de los diferentes grupos de animales, con tal que se procure que las muestras sean tanto mayores cuanto menor es la den-

sidad de población. Los valores relativos así obtenidos bastan para muchas cuestiones prácticas.

Al indicar las condiciones de colonización de un suelo siempre debe mencionarse la distribución en profundidad de las mismas. En efecto, la Förna, las capas superiores húmicas y el Suelo bruto no solamente albergan un número muy distinto de organismos, sino que también la densidad de población de los pequeños animales dentro del suelo mineral disminuye más o menos rápidamente, según la profundidad del mismo. En los suelos profundos y mullidos esta disminución es más lenta que en los poco profundos o muy compactos, puesto que la intensidad de la vida en el suelo depende del grado de aireación, del aporte del humus y del número de raíces. Por lo tanto, es necesario en los análisis cuantitativos del suelo investigar no sólo un horizonte del perfil, sino varios. Esto permite comprender las fluctuaciones anuales en la distribución del edafón en profundidad y tomarlas en consideración en el dictamen biológico del suelo. E. Jahn ha determinado estos cambios verticales de gran importancia, en investigaciones aun no publicadas sobre los suelos de bosques de clima panónico, seco en verano. Estos cambios hacen que allí la Förna de los bosques esté colonizada intensamente por pequeños animales mientras contiene suficiente humedad y, por el contrario, durante la época de la sequedad veraniega éstos se retiran al interior del suelo.

El número total de organismos que pueden vivir en un determinado volumen de suelo depende de la cantidad de poros, y, con ello, del espacio vital disponible, además de la aireación, de la cantidad y calidad de las sustancias orgánicas que forman el sustrato alimenticio, de la economía del agua y del clima y quimismo del suelo. Puesto que todos estos factores influyen también decisivamente en el desarrollo de la vegetación, es fácil comprender que la densidad de población de un suelo en organismos unida a su distribución en profundidad dentro de los horizontes atravesados por las raíces, constituye una medida de la fertilidad de aquél. Yo he podido determinar (ver Franz 1949/1) por comparaciones extensas con la evaluación oficial del suelo que se lleva a cabo actualmente en Austria con el fin de reajustar la contribución territorial, que la densidad de población de los animales del suelo, aunque se determine solamente para algunos grupos (nematodos, oligoquetos, ácaros, colémbolos, artrópodos mayores) da una idea del rendimiento del mismo tan exacta,

por lo menos, como la tasación de las comisiones oficiales, que se basa en las propiedades físico-químicas.

El número total de los animales pequeños que pueblan el suelo es enorme. Se ha calculado para una superficie de suelo de un metro cuadrado y para la capa superior de 10 centímetros de espesor de las praderas y céspedes minerales, y encontrado hasta ahora los siguientes valores máximos:

Protozoos (Amoeba, Flagellata, Ciliata) hasta 100.000 millones.

Rotíferos y Tardígrados, hasta 1.000.000 aproximadamente.

Nemátodos, hasta 8.000.000.

Acaros, hasta más de 260.000.

Apterigotos, hasta más de 210.000.

Otros artrópodos, hasta 10.000.

Enquitraeidos, hasta 50.000.

Lumbrícidos, hasta 200.

(Véase Hoffman 1934, H. Gisin 1947/2, H. Franz 1942, V. Lüdi 1948.)

En la capa de Förna y humus de un suelo de bosque del Norte de Suecia, cuyo espesor se supone en el cálculo de cuatro centímetros, y varía en realidad de 3,5 a 5 centímetros, K. Forsslund ha encontrado, por examen microscópico directo de muestras de un centímetro cúbico, el gigantesco número de 2.300.000 artrópodos en cada metro cuadrado de superficie, de los cuales corresponden aproximadamente 1.500.000 a los ácaros, 700.000 a los colémbolos y 9.000 a los demás artrópodos. Estos enormes números obtenidos con los métodos más finos de selección no podrían ya aumentarse de un modo importante por un refinamiento posterior de la investigación. Los números en cuestión comprenden las formas más juveniles, pero no los huevos y cistos. Al aplicar los métodos automáticos de selección que sirven únicamente para trabajar con pruebas mixtas mayores, se obtiene sólo fracciones de las cantidades anteriores, aun con los aparatos mejor construídos y el manejo más cuidadoso (véase Forsslund, 1948), de manera que los cálculos del número de animales de diferentes autores, basados sobre los resultados de métodos mecánicos de selección son, teniendo esto en cuenta, inexactos. En comparaciones relativas que bastan en muchos casos para las necesidades de la práctica, se obtienen resultados analíticos con aparatos automáticos construídos de la misma manera porque, aunque tienen iguales inconvenientes, pueden emplearse, sin embargo, en muchos casos

Esto es válido sobre todo al comparar entre sí suelos de labor con otros del mismo tipo, o diferentes suelos de pradera entre sí. Puesto que los animales pequeños tampoco se distribuyen uniformemente dentro de un mismo horizonte, sino que se acumulan más o menos en ciertos puntos, para la obtención de números redondos exactos deben investigarse pruebas medias, análogamente a como se hace en el estudio de los suelos en cuanto a su contenido en sustancias nutritivas vegetales. Según nuestras experiencias para los análisis por medio de aparatos automáticos Berlese, basta tomar pruebas con bastidores de 6 por 8 centímetros de base y 40 centímetros de altura, en el interior de una superficie uniforme de unos pocos metros cuadrados y mezclarlas entre sí, para obtener valores reproducibles dentro de un tiempo limitado en las correspondientes superficies. De ningún modo puede lograrse una mayor exactitud teniendo en cuenta las fluctuaciones del número de animales en el suelo y los defectos inherentes a los métodos mecánicos de selección.

Hay que tener presente que todos los números obtenidos sólo son comparables entre sí dentro de un intervalo de tiempo limitado de pocas semanas, puesto que la densidad de población de los pequeños animales en los suelos cambia mucho según la estación y también según el carácter total del clima del año correspondiente.

Las comparaciones de diferentes métodos de selección en el examen directo de los animales con el microscopio binocular en extractos acuosos de cantidades mínimas de suelo, proporciona los mejores resultados para los nemátodos. Los análisis con aparatos automáticos de embudo según Berlese y Tullgren dan valores relativamente comparables para el contenido del suelo en ácaros y colémbolos. En la investigación del número de artrópodos mayores en los suelos, deben estudiarse pruebas tamizadas. La mejor manera de hacerse una idea sobre la estructura especial de las comunidades vitales edáficas, que comprenden además de los animales, los microbios vegetales, los cuales representan no sólo en número, sino también en masa una cantidad mucho mayor, es agrupar las especies de organismos que las forman en formas vitales en el sentido de Raunkiaers (1907). Yo he realizado esto según el tipo de movimiento, que está en relación con la forma y tamaño del cuerpo, y distingo cuatro tipos principales de formas vitales en el suelo (ver Franz 1949/2).

#### 1. *El edafón sesil* (fijo):

Comprende los microbios vegetales localizados que tapizan a



modo de césped las paredes de los poros del suelo y recubren los pequeños terrones de tierra.

2. *El edafón «natante»:*

Este se mueve nadando en el agua capilar del suelo; sus representantes son seres muy pequeños, caracterizados por tener coronas de cilios, flagelos o una cola que hace de remo, y que pueblan los poros más finos del suelo.

3. *El edafón «serpente» (reptante):*

Comprende todos los animales que se mueven arrastrándose a través de los poros del suelo, independientemente de que su movimiento sea ameboide, reptante o por medio de patas.

4. *El edafón «fodente» (cavante):*

Está representado por los animales de mayor tamaño, que no encuentran suficiente espacio en los estrechos poros del suelo y por eso han de construirse primeramente su espacio vital. A éstos pertenecen, en primer lugar, los oligoquetos terrícolas, pero también todos los artrópodos y los vertebrados cavadores. Todos estos representantes tienen de común una forma más o menos cilíndrica.

Me parece que esta división corresponde mejor a la distribución natural del edafón que una puramente esquemática según el tamaño y el género de alimentación. En esta agrupación en formas de vida es posible sin más hacer un acoplamiento con la distinción entre hemi y euedafón propuesta por Gisin (1947).

Como es sabido, la composición específica de la microfauna del suelo no es siempre la misma, sino que ofrece un cuadro más o menos diferente en distintas condiciones exteriores, de un modo análogo a como sucede con la vegetación y fauna epigeas. La diferencia consiste, de un lado, en la naturaleza de las especies asociadas, y de otro, en la relación cuantitativa de éstas entre sí. Las diferencias cualitativas son tanto mayores cuanto más distintas son las condiciones locales bajo las cuales viven las comunidades de animales comparadas; naturalmente son particularmente grandes cuando se comparan situaciones extremas. Estas pueden caracterizarse de un modo muy tajante, la mayor parte de las veces por formas tipo de la fauna del suelo, como las indicadas por nosotros, por ejemplo, para determinados intervalos de pH en los suelos salinos (ver Franz-Hoefler-Scherf, 1937), y a la inversa, puede esperarse con gran probabilidad en estas situaciones extremas, una fauna de composición

perfectamente determinada. En tales casos se pueden deducir por lo tanto conclusiones muy seguras sobre la composición de la fauna del suelo, del carácter de la vegetación y las condiciones de aquél. Por desgracia la seguridad de tales conclusiones disminuye muy rápidamente cuando nos apartamos de las situaciones extremas y nos acercamos a las condiciones medias de vida. Entonces, en lugar del influjo dominante de un factor de mínimo se presenta cada vez más compleja la acción de muchos factores que no se manifiestan patentemente en la composición de la vegetación y el tipo de suelo. En estos casos F. Hartmann (1948) al investigar los biotopos de los bosques, ha encontrado situaciones que a pesar del mismo tipo de flora (cito literalmente sus palabras), reaccionan de modo diferente a iguales medidas forestales. En tales situaciones la distribución de las especies animales no es paralela a la de la vegetación ni tampoco a la de los diferentes tipos de suelos, sino que, evidentemente, está determinada en parte por factores que tienen una acción específica sobre los organismos del suelo. En último término parece corresponder aquí al factor agua una importancia dominante. En la investigación de los biotopos de los céspedes de alta montaña, en el Hohen Tauern, he encontrado por primera vez un comportamiento claramente distinto de las fito-y zoocenosis, en las cuales la composición de la fauna del suelo no es en modo alguno paralela a la de la vegetación, y tampoco cambia marcadamente con el tipo de suelo. Sólo tomando como fundamento el número de animales podemos lograr aquí una clasificación biocenótica del mundo animal, correspondiente a las condiciones naturales, por lo cual ya hace diez años (Franz, 1939) he hecho la proposición de que las comunidades de animales sean caracterizadas y distinguidas entre sí por sus especies características y la agrupación típica de las mismas. Esta idea ha sido también sostenida en los últimos años por otros biocenóticos, en especial por H. Gisin (1944/1) y K. Strenzke (1949).

La clasificación biocenótica de la fauna del suelo, cuyos representantes escapan en su mayor parte a la observación en el campo, se transforma desde luego con esta proposición en un trabajo de investigación muy penoso, que sólo puede resolverse, en último término, por la comparación estadística de un gran número de listas de especies obtenidas por selección cuidadosa de muestras de suelo uniformes y suficientemente voluminosas.

Hasta hace poco existían escasas investigaciones de este tipo a consecuencia del enorme trabajo que ellas implican, y se referían en

la mayoría de los casos sólo a uno o pocos grupos sistemáticos. Yo he comenzado tales investigaciones en Austria ya hace más de diez años, extendiéndolas a casi todos los animales del suelo posibles, con excepción de los vertebrados y protozoos.

Para facilitarme un tanto el trabajo, comencé por la comparación de situaciones lo más diferentes posibles, a fin de conocer así primeramente las máximas divergencias en la composición de la fauna del suelo. Con ello pude observar claramente una serie de sinusias o grupos de sinusias; las otras sólo en el futuro podrán ser diferenciadas claramente y delimitadas.

Los resultados preliminares de mis investigaciones en los Alpes Orientales, llevadas a cabo con la ayuda de una serie de especialistas, están expuestas en un libro recientemente aparecido que lleva por título «Zoología del suelo como fundamento del cultivo del mismo» (Franz 1950). En este libro se reúne el inventario de especies de las distintas sinusias del suelo, tomando como base mucho más de 1.000 análisis de suelos, y aproximadamente 100 tablas, según la clase de las tablas de asociación obtenidas en los trabajos sobre la vegetación. Sin poder entrar en detalles, hay que indicar las regularidades biocenóticas observables claramente hasta ahora.

1. En las montañas los escalones elevados de la vegetación que representan entre sí límites más o menos precisos de las fitocenosis separan también en la microfauna del suelo las distintas sinusias.

2. Dentro del área de bosque se dan los mayores contrastes imaginables entre la biocenosis del suelo de los terrenos de bosque y sin bosque. El grado de sombra del suelo tiene evidentemente un influjo mayor sobre la composición de las sinusias del suelo que todos los demás factores locales, por su efecto sobre la variación de la temperatura y humedad.

3. En el interior de los biotopos forestales se observa una clara gradación, según la intensidad de sombra, desde los bosques espesos de hayas, pasando por los bosques altos de coníferas, a los bosques soleados de las landas, en los cuales la exposición en terreno pendientes y la frondosidad de la copa de los árboles condicionan todas las posibles variaciones locales.

Así, en los bosques de las landas de los Alpes, situados en terrenos calizos sombríos, orientados al Norte, hallamos varios representantes típicos de aquellas sinusias que se encuentran a veces en los restos vegetales húmedos de los bosques oceánicos y sombríos de hoja caduca.

4. La extrema oposición que existe en los escalones de vegetación cubiertos de bosque entre éste y el suelo sin bosque, se repite en la zona de los prados de alta montaña entre los céspedes muy pronto libres de nieve y los pequeños valles cubiertos mucho tiempo por ésta. De la misma manera que las sombras de los árboles de los bosques suavizan los contrastes en la variación diurna de la temperatura y la humedad relativa, así también el sombreado por la capa de nieve, y posteriormente la humidificación del suelo con el agua de fusión y también el consumo de calor en los procesos de fusión y evaporación, hacen menores las variaciones del clima.

5. Naturalmente, al lado de estos factores desempeña un papel decisivo el factor nutrición. El tipo y facilidad de descomposición de los restos vegetales, siempre afectados, desde luego, por el grado de humedad, tiene una influencia fundamental en la composición específica y la densidad de población de las biocenosis del suelo. En las biocenosis forestales esto se traduce en una unión más o menos íntima de las diferentes especies animales en los restos vegetales de un bosque determinado.

6. En el suelo la humedad demasiado grande lo mismo que la demasiado pequeña influye decisivamente en el número de organismos. Las aguas estancadas en forma de aguas de lluvia retenidas o de un alto nivel del agua subterránea influyen muy fuertemente en la distribución espacial de las comunidades de animales del suelo. Esto se manifiesta con la máxima claridad en el estudio de los suelos y por el contrario las otras propiedades físicas y químicas de los mismos tienen una importancia secundaria.

7. Los factores enumerados pueden cambiar en un pequeño espacio mucho más intensamente que el mosaico de las fitocenosis, pero puede también suceder lo contrario.

8. Al lado de los factores ecológicos que actúan al presente se manifiesta también en la zona de los Alpes el factor histórico de las variaciones del clima en el cuaternario. La invasión de los Alpes por los hielos en los períodos glaciares hizo desaparecer la fauna en las zonas afectadas por el glaciamento, y muy pocos animales móviles (así, por ejemplo, muchos miriápodos y coleópteros, pero también ciertos ácaros, apterigotos y turbelarias) se encuentran actualmente como reliquias sólo en el exterior de los límites del glaciamento alpino pleistocénico. Las biocenosis del suelo son, por tanto, más ricas en especies en los terrenos permanentemente libres de hielos que en las zonas devastadas por los glaciares. Aún no se ha

investigado en qué extensión la diferente edad de los suelos examinados, que está relacionada con el recubrimiento parcial por los hielos, influye en la composición de las sinusias del suelo.

9. Sin embargo, se ha demostrado con toda claridad en numerosas investigaciones comparativas que todo cambio de las condiciones locales naturales provocado por el hombre da lugar a variaciones en la composición específica de las sinusias del suelo afectadas. Ante todo es válida la regla de que la diversidad de las especies de las biocenosis disminuye tanto más cuanto más profunda y frecuentemente son modificadas las condiciones locales por la mano del hombre. En la zona mediterránea la despoblación artificial de grandes superficies representa sin duda la intervención humana más importante en la vida del suelo. A esto se añaden medidas como la desecación y el riego artificiales, el abonado orgánico, la roturación de las praderas con la subsiguiente explotación de la tierra de labor, así como la influencia del continuo laboreo mecánico del suelo. La consecuencia de esto es una despoblación progresiva mayor o menor de los suelos de cultivo y sobre todo de los terrenos devastados por el hombre, con lo cual se produce simultáneamente una sensible disminución en la fertilidad del suelo. De estos hechos hemos de ocuparnos aún con más detalle, pero antes hablemos brevemente de los trabajos de otros autores.

Al mismo tiempo que mis trabajos, las investigaciones edafo-zoológicas realizadas por W. Kühnelt (1948) en Carintia han conducido a resultados que apoyan ampliamente los míos. Una comparación de las comunidades de ácaros en los suelos de 40 lugares forestales señaló una gran diversidad en la composición específica, con lo cual es innegable una cierta relación entre las biocenosis del suelo y el tipo de bosque. Sin embargo, según indicó también Kühnelt, esta relación consiste menos en una dependencia inmediata de la fauna del suelo de la vegetación, que en las diferencias en el clima del suelo condicionadas por el tipo de bosque.

H. Gisin ha trabajado mucho en los últimos años en Suiza sobre las comunidades vitales de colémbolos terrícolas. Comparando la totalidad de colémbolos de un número muy grande de muestras de suelo ha podido determinar en una serie de casos una marcada «Vicarianz» o sustitución de las formas más estrechamente emparentadas. El distingue, tomando como fundamento el contenido de especies, toda una serie de sinusias (Gisin, 1943, 1947/2, 1948), la mayor parte de las cuales han sido encontradas de nuevo por mi colaboradora

E. Butschek, con una composición aproximadamente igual, en los materiales recogidos por mí en los Alpes Orientales. Ello indica que, dentro de la zona de los Alpes, se comprueba una cierta homogeneidad en la composición de las comunidades de animales del suelo, al prescindir de diferencias condicionadas histórica y climáticamente.

Relaciones completamente distintas se presentan en el territorio de clima panónico de la Europa Central-Sudoriental, en cuya parte occidental, al sudeste de Viena, comencé antes de la guerra, juntamente con M. Beier, el estudio de la microfauna del suelo. El comienzo de la guerra interrumpió muy pronto estas investigaciones en septiembre de 1939. Sin embargo, hemos trabajado con el material recogido hasta entonces, y expuesto en dos publicaciones los resultados obtenidos (H. Franz y M. Beier, 1942, 1947). En ambos trabajos aparecen los descubrimientos biocenóticos de importancia general que se indican en los siguientes puntos:

1) La composición específica de la microfauna en la zona de clima panónico de Austria es extraordinariamente distinta de la de los territorios húmedos de los Alpes. Por tanto, son también completamente diferentes las biocenosis del suelo en ambas zonas. Las divergencias se refieren a grupos particulares de animales, de tal manera que son especialmente grandes en los ácaros y coleópteros, mientras que en otros, por ejemplo, los nemátodos, sólo son escasas.

2) Aquí la posición del nivel de agua subterránea tiene mucha más importancia que en el clima húmedo de montaña, porque en el territorio panónico el factor agua es muchas veces el factor de mínimo que domina la vida. En los terrenos próximos al agua subterránea este factor es decisivo también para la distribución espacial de las zocenos, como ya lo demostró Boyko (1932) para las fitocenosis del Neusiedlersee.

3) Las superficies de los terrenos sometidos a la influencia del agua subterránea que están secas en verano y que tampoco son lavadas cuando el nivel del agua subterránea es máximo, muestran biocenosis distintas a las de los suelos secos que en todo momento están lejos del influjo del agua subterránea.

4) El influjo del sombreado del suelo y el contraste condicionado por él entre la microfauna de los suelos poblados y libres de bosque, es también muy marcado en la zona de clima panónico.

5) Un elevado contenido en sales alcalinas se manifiesta claramente en la composición de la fauna del suelo. Muchas especies animales evitan completamente los suelos alcalinos; otras, están liga-

das tan fuertemente a una elevada concentración salina, que es posible deducir de su presencia una determinada alcalinidad del suelo. (Véase Franz, Höfler-Scherf, 1937). En los suelos salinos, casi siempre próximos a las aguas subterráneas se produce, además, a menudo un enmascaramiento del influjo del factor agua por el del factor salino.

Las condiciones biocenóticas determinadas por nosotros en los suelos próximos al nivel de agua subterránea de la zona de clima panónico son parecidas en varios aspectos a aquellas de la costa de Dinamarca. T. Weis-Fogh (1948), en la investigación de perfiles de terrenos de varios lugares con una variación progresiva de los factores ecológicos (especialmente humedad, estructura del suelo y tipo de los restos vegetales), ha determinado allí un cambio también paulatino en la composición de la fauna de ácaros y colémbolos. En las llanuras danesas encontró este autor un contraste biocenótico marcado entre los suelos siempre húmedos y aquellos otros secos temporalmente. Este contraste corresponde enteramente al determinado por nosotros en la llanura oriental de Austria.

Se espera con gran interés la publicación de los resultados obtenidos en las investigaciones comparativas de C. Delamare-Deboutville sobre la microfauna de los suelos europeos y tropicales. Por desgracia no se han impreso hasta ahora estos trabajos.

No es posible en el espacio de esta comunicación decir mucho más sobre la biocenótica del suelo que se encuentra solamente en los comienzos de su desarrollo. Deberíamos ocuparnos todavía de otros muchos trabajos, por ejemplo, de los de Evans y Guild sobre lumbrícidos (1944, 1948), de Overgaard sobre nemátodos (1948, 49), de M. Hammer (1944) sobre los ácaros y colémbolos de Groenlandia, de E. Bro Larsen, L. Brundin, R. y H. Krogerus, así como O. Renkonen sobre coleópteros y, no en último lugar, del trabajo fundamental de H. Janetschek (1949) sobre las sucesiones terrícolas en los suelos nuevos de la zona alpina alta.

Hay que destacar que en los últimos años ha sido investigada con especial atención la microfauna de las acumulaciones de masas orgánicas en descomposición. Después de que K. L. Fourman (1936) dió una primera visión de conjunto sobre las diferencias de las comunidades de pequeños animales que se presentan asociadas a la putrefacción, descomposición y humificación, han sido sometidas a un estudio detenido las comunidades de pequeños animales existentes en el estiércol amontonado y en los excrementos de los animales domés-

ticos depositados en campo abierto. Yo mismo he investigado biocenóticamente los pequeños animales que toman parte en la maduración del estiércol y mantillo (ver Franz 1949/4), sobre lo cual han realizado anteriormente trabajos muy valiosos K. Wulfert (1944), F. Paesler (1946) y E. Leitner (1946, 1949). Hg. Sachs ha estudiado recientemente con mucha exactitud los nemátodos de los excrementos del ganado vacuno, y mi colaborador P. Gunhold todas las biocenosis en los mismos excrementos. De todas estas publicaciones se deduce claramente que las biocenosis que existen en los montones de sustancias orgánicas en rápida descomposición, son extraordinariamente diferentes en su composición específica de las sinusias de los suelos normales, y se distinguen entre sí muy notablemente en su contenido de animales.

La misma descomposición ulterior del estiércol en el suelo se produce bajo la acción dominante de típicos pobladores del estiércol, como lo ha demostrado Maiwald (1943) para la flora bacteriana, y nosotros (ver Franz y Repp, 1950) para la microfauna en los paquetes de estiércol introducidos en el suelo. Sólo ciertas especies de lombrices del suelo, en Austria sobre todo *Allobophora rosea* (Sav.) y *Lumbricus rubellus* Hoffm, penetran en seguida en el estiércol y lo mezclan con la tierra que está alrededor. La paja no descompuesta no es atacada por las lombrices y permanece intacta durante mucho tiempo en el suelo. La fauna propia del suelo y también las bacterias del mismo son eliminadas de las capas de tierra a las cuales se llevó el estiércol hasta que éste es mezclado casi completamente con la tierra por las lombrices. Con ello mueren ciertas especies de organismos y son sustituidos por las sinusias de los suelos agrícolas abonados, no con mucho acierto llamadas «nitrófilas». Este es uno de los cambios mencionados de la fauna del suelo condicionados por el cultivo.

Quien ha trabajado alguna vez sobre las biocenosis del suelo sabe que se precisa un enorme y detallado trabajo para llegar a resultados útiles. El experto comprenderá que sólo pueden obtenerse progresos lentamente y con gran esfuerzo. En el campo biocenótico nos encontramos, por tanto, aún en los comienzos para dar una primera ojeada sobre las leyes existentes en él. De todos modos, conocemos ya numerosas formas principales entre las especies animales del suelo que indican determinados estados del mismo favorables o desfavorables y cuya falta en las sinusias, en que era de esperar que estuvieran, también nos da valiosas indicaciones. La biocenótica del



suelo alcanza un notable valor diagnóstico puesto que permite deducir conclusiones de lo que ha sucedido con el suelo en el pasado y también pronosticar su desarrollo en un próximo futuro, ya abandonado a sí mismo, ya siga tratándose como hasta ahora. Aprendiendo a leer, con ayuda de las especies de organismos que se encuentran en el suelo, como con las letras de un alfabeto, conocemos estados del suelo a los que hasta ahora no habíamos prestado suficiente atención. La investigación de los cambios biocenóticos ocurridos a consecuencia de los cambios artificiales del estado del suelo, tiene en este caso la máxima significación. Por eso, me he dedicado con especial interés con mis colaboradores en los últimos años a la investigación de estos temas.

Sería muy tentador unir a las consideraciones biocenóticas las cuestiones de la producción biológica, como se hizo por primera vez en la hidrobiología y lo llevó a cabo Palmgren en las biocenosis terrestres. Sin embargo, yo creo que los datos de que hoy disponemos no son suficientes para poder dar indicaciones mucho más exactas sobre este complejo de cuestiones, como yo he intentado hacer ya en distintos lugares de esta comunicación. Me abstengo por ello de la discusión detenida de las cuestiones biológicas de la producción; sin embargo, no dejo de indicar que su estudio es de la máxima importancia para el establecimiento de un plan para la mejora del suelo, con bases científicas.

Llego con ello al fin de mi exposición que, por el tiempo limitado de mi conferencia, no puede de ninguna manera ser completa. Les ruego que tengan en cuenta que esta insuficiencia es debida al abundante material aportado en los últimos años por el impetuoso desarrollo de la investigación sobre la microfauna del suelo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BACKLUND, H. 1946. Swedish Enchytraeidae. I. With anatomical remarks, and with notes on three Lumbricidae. *Lunds Universit. Arsskr.* Nr. 1. Avd. 2. 42/13. Lund, 22 pág., 2 lám.
- 1947. Swedish Enchytraeidae II. *Lunds Univ. Arsskr.* Avd. 2, 43/8, Lund, 31 pág., 3 lám.
- BOJKO, H. 1932. Über die Pflanzengesellschaften im burgenländischen Gebiet östlich vom Neusiedlersee. *Burgenländ. Heimatblätter.* 1.
- BRO LARSEN, E. 1936. Biologiske Studien über die tunnelgrabenden Käfer auf Skallingen. *Vidensk. Meddel. Dansk. naturk. Foren.* 100, p. 1-231.
- 1949. The influence of the severe winters of 1939-43 on the soil fauna of Tipperne. *Oikos.* 1, 186-207.

- BRUNDIN, L. 1934. Die Coleopteren des Torneträskgebietes. Ein Beitrag zur Ökologie und Geschichte der Käferwelt in Schwedisch-Lappland. Lund, 436 pág. y 17 fig.
- DARWIN, CH. 1837. Über die Bildung der Ackererde. *Transact. Geolog. Soc. London*, 5, 505 ff.
- DONNER, J. 1949. Rotatorien der Humusböden. *Österr. Zool. Ztschr.* 2.
- DRIFT, J. VAN DER. 1950. Analysis of the animal community in a beech forest floor. *Proefschrift, Wageningen*. 168 pág., 3 tab.
- EHRENBERG, G. CHR. 1837. Die fossilen Infusorien und die lebende Dammerde. Berlin.
- 1854. Mikrogeologie. Las Erden und Felsen schaffende Wirken des unsichtbaren, kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. Leipzig, con Atlas de 41 lám. con 4.000 fig.
- EVANS, A. C. 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. II. Some effects of earthworms on soil structure. *Ann. appl. Biol.* 35, 1-13.
- and W. J. MYL. GUILD. 1947. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. I. Biological studies in the field. *Ann. appl. Biol.* 34, 307-330.
- 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. IV. On the life cycle of some british Lumbricidae. *Ann. appl. Biol.* 35 (1), 471-484.
- 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. V. Field Populations. *Ann. appl. Biol.* 35 (2), 485-493.
- FALGER, F. 1914. Die erste Besiedelung der Gesteine (Vorläufige Mitteilung). Die Kleinwelt 6, 1-7.
- 1922. Die erste Besiedelung der Gesteine. *Mikrokosmos*. 16, 23, Heft 1, 3 u. 5.
- FENTON, G. R. 1947. Essay review. The soil fauna: with special reference to the ecosystem of forest soil. *Journ. Animal. Ecol.* 16, 76-93.
- FÖRSSLUND, K. H. 1948. Något om insamlingsmetodik vid markfaunaundersökningar. (Über die Einsammlungsmethodik bei Untersuchungen der Bodenfauna.) *Meddel Statens Skogsforskningsinst.* 37, Nr. 7, p. 1-22.
- FOURMAN, K. L. 1936. Kleintierwelt, Kleinklima und Mikroklima in Beziehung zur Kennzeichnung des forstlichen Standortes und der Bestandesabfallzersetzung auf bodenbiologischer Grundlage. *Mitt. aus Forstwirtschaft u. Forstwissenschaft*, p. 596-615.
- FRANCÉ, R. H. 1912. Studien über edaphische Organismen. *Centralbl. Bacteriol.* II. Abt. 32 1-7.
- 1921 (II. Aufl.), 1910 (I. Aufl.). Das Edaphon. Untersuchungen zur Ökologie der bodenbewohnenden Mikroorganismen. Stuttgart, 99 pág.
- FRANZ, H. 1939. Grundsätzliches über tiersoziologische Aufnahmemethoden, mit besonderer Berücksichtigung der Landbiotope. *Biolog. Reviews*, 14, 360-398.
- 1942. Untersuchungen über die Kleintierwelt ostalpiner Böden. I. Die freilebenden Erdnematoden. *Zool. Jahrb. (Syst.)* 75 (a), 365-546, lám. 2.
- 1943. Die Landtierwelt der mittleren Hohen Tauern. Ein Beitrag zur tiergeographischen und -soziologischen Erforschung der Alpen. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math. nat. Klasse*, 107 (b), 552 págs., 11 mapas u 14 lám.
- 1943. Bildung von Humus aus pflanzlichem Bestandesabfall und Wirtschaftsdünger durch Kleintiere. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 32 (77), (2), 336-351.
- 1949. Bodenbewertung und Bodenverbesserung auf Grund der biologischen

- Bodenanalysen. *Veröff. d. Bundesanst. f. alp. Landw. in Admont f. d. Jahr.* 1946-47. Wien (1).
- 1949. Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit. Wien (2).
- 1949. Biological Soil Research in Relation to Soil Conservation. *United Nations Economic and Social Council, Conf. on the Conservation and Utilization of Resources. E/Conf. 7/Sec./N. 400, Lake Success (3)*, 8 p.
- 1949. Neue Forschungen über den Rotteprozeß von Stallmist und Kompost Wien (4), Kommissionsverlag Springer.
- 1950. Bodenzologie als Grundlage der Bodenpflege. Mit besonderer Berücksichtigung der Bodenfauna in den Ostalpen und im Donaubecken und ihrer Anwendung in der Bodenpflege. Berlin, 317 pág.
- K. HÖFLER und E. SCHERF. 1937. Zur Biosozologie des Salzlachengebietes am Ostufer des Neusiedlersees. *Verh. zool. bot. Ges. Wien.* 86-87, 297-364.
- und M. BEIER. 1942. Zur Kenntnis der Bodenfauna im pannonischen Klimagebiet der Ostmark. I. Die freilebenden Erdnematoden. *Zool. Jahrb.* 75, 349-364.
- 1948. Zur Kenntnis der Bodenfauna im pannonischen Klimagebiet Österreichs. II. Die Arthropoden. *Annal. nat. Mus.* Wien, 56.
- und L. LEITENBERGEN. 1948. Biologisch-chemische Untersuchungen über Humusbildung durch Bodentiere. *Österr. zoo. Ztschr.* 1, 498-518.
- und G. REPP. 1949. Untersuchungen über die Stallmistrotte im Stapel und im Boden. *Die Bodenkultur*, 3, 465-486.
- FREY-WYSSLING, A. und K. MÜHLETHALER. 1949. Über den Feinbau der Zellwand von Wurzelhaaren. *Mikroskopie* 4, 257-266.
- GISIN, H. 1943. Ökologie und Lebensgemeinschaften der Collembolen im schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. *Rev. Suisse de Zool.* 50, 131-224.
- 1947. Analyses et synthèses biocénologiques. *Archives Sci. physiques et natur.* 9<sup>e</sup> Per. 29 (1), 42-75.
- 1947. Es wimmelt im Boden von Unbekanntem. *Prisma, Schweizerische Monatsschrift f. Natur, Forschung u. Technik* 2 (2), Heft 5/6, 8 pág.
- 1947. Sur les insectes aptérygotes du parc national suisse. Espèces et groupements édaphiques. *Ergebn. wiss. Unters. schweiz. Nationalparks (N. F.)* 2, (a), 77-91.
- 1948. Collemboles endogés du Tessin méridional. *Boll. Soc. Ticinese Sci. Nat.* 43, 79-90.
- GOFFART, H. 1948. Zur Taxonomie und Entstehung der Heterodera-Arten. *Nachrichtenbl. Biolog. Zentralanst. Braunschweig* 1, Heft 3, 1948, 1 pág.
- GRETSCHY, GERTA. 1948. Die Sukzession der Bodentiere auf Fichtenschlägen. Dissertation, Wien 1948.
- GUILD, W. J. und Mc L. GUILD. 1948. Studies on the relationship between earthworms and soil fertility. III. The effect of soil type on the structure of earthworm population. *Ann. appl. Biol.* 35, 181-192.
- GUNHOLD, P. Die Metazoengemeinschaft in Rinderexkrementen auf Viehweiden. *Ungeedr. Manuskript.*
- HAMMER, M. 1944. Studies on the Oribatids and Collemboles of Greenland. *Meddel. om Gronland.* 141/3, 210 pág.
- HAARTMANN, F. 1944. Waldhumusformen. *Ztschr. f. d. ges. Forstwesen.* 76-77, p. 39-70
- 1948. Die praktische Bedeutung der forstlichen Standortstypenlehre und -forschung. *Österr. Vierteljahresschr. f. Forstwesen.* 89, 59-73.

- HOFMÄNNER, B. und R. MENZEL. 1915. Die freilebenden Nematoden der Schweiz. *Rev. suisse de Zool.* 23, 109-243, Taf. IV-VI.
- JAHN, E. 1947. Abhängigkeit tierischer Bevölkerungsbewegungen vom Raume. *Allg. forst- und holzwirtschaftl. Zeitung.* 58, 190-192.
- 1950. Bodentieruntersuchungen in den Flugsandgebieten des Marchfeldes. Untersuchungen über die Bevölkerungsdichte von Bodentieren in Düne und verschiedenen alten Beständen der ersten Waldgeneration. *Ztschr. angew. Entom.* 32, 208-274.
- JANETSCHKEK, E. 1948. Tierische Successionen auf hochalpinem Neuland. *Ber. naturw.-mediz. Ver. Innsbruck* 48-49, 1-215, Taf. I-VII.
- KASERER, H. 1911. Beobachtungen über die Bewurzelung der Kulturpflanzen bei Reinsaat und bei Mischsaat. *Ztschr. f. d. landw. Versuchswesen in Österreich.* pag. 1022-1030.
- KLAPP, E. 1943. Über die Wurzelverbreitung der Grasnarbe bei verschiedener Nutzungsweise und Pflanzengesellschaft. *Pflanzenbau* 19, 221-236.
- KOFFMAN, M. 1934. Die Mikrofauna des Bodens, ihr Verhältnis zu anderen Mikroorganismen und ihre Rolle bei den mikrobiologischen Vorgängen im Boden. *Arch. f. Mikrobiol.* 5, 246-302.
- KROGERUS, H. 1948. Ökologische Untersuchungen über Uferinsekten. *Acta zool. fennica* 53, 157 pag.
- 1932. Über die Ökologie und Verbreitung der Arthropoden der Triebsandgebiete an den Küsten Finnlands. *Acta zool. Fennica* 12, 308 pag., 1 Karte.
- KUBIENA, W. 1943. Beiträge zur Bodenentwicklungslehre. Entwicklung und Systematik der Rendsinen. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 29 (74), (b), 108-119.
- 1948. Entwicklungslehre des Bodens. Wien XI y 215 pag., 9 lám.
- KÜHNELT, W. 1943. Die Leitformenmethode in der Ökologie der Landtiere. *Biol. generalis* 17, 106-146.
- 1948. Ein Beitrag zur Kenntnis der Bodentierwelt einiger Waldtypen Kärntens. *Carinthia* II, 137-138, 165-173.
- 1950. Bodenbiologie. Wien, 368 pag., 3 lám.
- LEITNER, E. 1946. Zur Kenntnis der Milbenfauna auf Düngerstätten. *Zentralbl. f. d. Gesamtgebiet d. Entomol.* 1, 1-48.
- 1949. Zur Kenntnis der Gattung *Digamasellus* Berlese 1905. *Zentralbl. f. d. Gesamtgebiet d. Entomologic*, 3, 51-62.
- LÜDI, W. 1948. Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Intelaken und ihre Beziehungen zur Umwelt. *Veröff. geobot. Inst. Rübel in Zürich*, 23, 400 pag.
- LUNDEGARDH, H. 1949. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. 3. Aufl., Jena, 484 pag., 129 fig. y 2 Karten.
- MACFADYEN, A. 1949. Population Ecology. *Science Progress.* Nr. 147, 532-543.
- MAIWALD, K. 1943. Die Weiterverrottung des Stalldüngers im Boden. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 29 (74), 1940-162.
- MAN, J. G. DE. 1884. Die frei in der reinen Erde und im süßen Wasser lebenden Nematoden der niederländischen Fauna. *Eine systematisch-faunistische Monographie.* Leiden.
- MEYER, L. 1943. Experimenteller Beitrag zu makrobiologischen Wirkungen auf Humus- und Bodenbildungen. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 29 (74), 119-140.
- MICOLETZKY, H. 1922. Die freilebenden Erdnematoden. (Mit besonderer Berücksichtigung der Steiermark und der Bukowina, zugleich eine Revision sämtlicher nicht

- mariner, freilebender Nematoden in Form von Genus-Beschreibungen und Bestimmungsschlüsseln). *Arch. f. Naturgesch., Abt. A.* (1921), Heft 8 und 9, 650 pág. y 1 lám.
- MIHELČIČ, F. 1949. Nuevos biotopos de Tardigrados. *Ann. de Edafología y Fisiol. veget.* 8, 511-526.
- MORGENWECK, G. 1941. Strukturvergleiche von Acker- und Grünland. *Pflanzenbau* 18, 162-191.
- MÜLLER, P. E. 1887. Studium über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin, VIII y 324 pág., 6 lám.
- NITZSCH, W. v. 1936. Der Porengehalt des Ackerbodens. Maßverfahren und ihre Brauchbarkeit. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 1, 101.
- 1948. Porengrößen im Boden, ihre Beziehungen zur Bodenbearbeitung und zum Wassergehalt. *RKTL-Schrift.* Nr. 85.
- OVERGAARD, C. 1948. Studies on the soil microfauna. I. The moss inhabiting nematodes and rotifers. *Publ. Soc. Sc. Lettr. d'Aarhus. Sér. Sc. Nat.* 1.
- PAESLER, FR. 1946. Beitrag zur Kenntnis der im Dünger lebenden Nematoden. *Österr. zool. Ztschr.* 1, 87-128.
- PALMGREN, P. 1930. Quantitative Untersuchungen über die Vogelfauna in den Wäldern Südfinnlands. *Acta zool. Fennica* 7, 218 pág., 1 Diagrammbeilage.
- POST, H. v. 1861. Nutideus koprogena bildningar: Gytjtja, Dy, Torf och Mylla. *Kong. Svensk. Vetensk. akad. Handl. Nyd* 4,
- RAUNKIAER, C. 1907. Planterigetets Livstormet og deres Betydning for Geografien. Kjobenhavn.
- REISINGER, E. 1924. Die terricolen Rhabdocoelen Steiermarks. *Zool. Anz.* 59, 1-45.
- ROMELL, L. G. 1935. An example of myriapods as mull formers. *Ecology* 16, 67-71.
- RUSSEL, E. J. 1936. Boden und Pflanze. 2. Aufl. Dresden-Leipzig, XIII y 446 pág.
- SACHS, HG. 1949. Revision der Bunonematinae (Anguillulidae, Nematodes). *Zool. Jahrb.* 78, Heft 4, 323-366.
- 1950. Die Nematodenfauna der Rinderexkremente. *Zool. Jb. (Syst.)* 79, Heft 3, 209-320.
- SCHNEIDER, W. 1939. Freilebende und pflanzenparasitische Nematoden. Die Tierwelt Deutschlands begr. v. F. Dahl, 36. Teil, Jena, 260 pág.
- SCHWEIZER, J. 1909, 1949. Die Landmilben des schweizerischen Nationalparkes. I. Teil: Parasitiformes Reuter 1909. *Ergebn. der wiss. Unters. d. Schweiz. Nationalparks* Bd. 2 (N. F.), 99 pág.
- SEKERA, F. 1941. Was ist Bodengare? Die Phosphorsäure. 10, 257-300.
- 1943. Der gesunde und kranke Boden. Berlin, 107 pág.
- SHELFORD, V. E. y TOWLER, E. D. 1925. Animal communities of the San Juan Channel and adjacent areas. *Publ. Puget Sd. Mer. biol. Sta.* 5, 33-73.
- STACH, J. 1947. The apterygotan Fauna of Poland in relation to the World-Fauna of this group of insects. Family: Isotomidae. *Acta monograph. Mus. hist. nat. Krakow*, 488 pág., 53 lám.
- 1949. The apterygotan Fauna of Poland in relation to the World-Fauna of this group of insects. Families: Neogastruridae and Brachystomellidae. *Acta monogr. Mus. hist. nat. Krakow*, 341 pág., 35 lám.
- STRENZKE, K. 1949. Die biozönotischen Grundlagen der Bodenzöologie. *Ztschr. f. Pflanzenernähr.* Düngung u. Bodenkunde 45 (90), 245-262.
- STRENZE, K. 1950. Systematik, Morphologie und Ökologie der terrestrischen Chironomiden. *Arch. f. Hydrobiol. Suppl. Bd.* 18, 207-414.

- ULRICH, A. TH. 1933. Die Makrofauna der Waldstreu. Quantitative Untersuchungen in Beständen mit guter und schlechter Zersetzung des Bestandesabfalles. *Mitt. Forstwirtsch. u. Forstwiss.* 4, 283-323.
- WEIS-FOGH, T. 1948. Ecological investigations on Mites and Collemboles in the soil. *Natura Jutlandica* 1, 139-270, 17 Tab.
- WITTICH, W. 1933. Untersuchungen in Nordwestdeutschlands über den Einfluß der Holzart auf den biologischen Zustand des Bodens. *Mitt. aus Forstwirtsch. u. Forstwiss.* 4, 115-158.
- 1943. Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustand. I. *Forstarchiv* 15, 1939, Heft 5-6, 1-16, II. ebenda, 19. Heft 1-2, 1-18.
- WOLLNY, E. 1897. Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildung. Heidelberg, X y 479 pág.
- WULFERT, K. 1944. Bericht über Rotatorien aus einigen Düngerproben. *Z. Morph. Ökol.* 40, H. 3, 377-388.

## TECNICAS ANALITICAS DE INTERES BIOLOGICO

### MÉTODO DE KJELDAHL

El método de Kjeldahl, representa aún, en la actualidad, a pesar del tiempo transcurrido desde su aparición, una de las técnicas de uso frecuente en los laboratorios. En las páginas de las Revistas químicas sigue ocupando lugar destacado la literatura en torno a este método ya clásico.

Las determinaciones del nitrógeno en suelo y planta también precisan, lógicamente, del método que nos ocupa. Ello ha hecho que juzgándolo de interés para nuestros lectores presentemos un breve resumen bibliográfico, acerca del conocimiento actual de una de las partes del Kjeldahl (macrométodo) de mayor interés: aquella que se refiere a los distintos catalizadores empleados.

El estudio por Heintz y Rogsky de la acción del ácido sulfúrico sobre las materias orgánicas nitrogenadas, pasando el nitrógeno al estado de sulfato amónico, fué la base del método Kjeldahl, que substituyó al anteriormente usado de Will y Varrentrapp (95). Estos autores, calcinaban la sustancia con cal sodada; el nitrógeno se transformaba en amoníaco y éste se recibía en una solución de sulfúrico  $n/10$ , cuyo exceso se valoraba con sosa, en presencia de anaranjado de metilo. Muchos compuestos nitrogenados no dan amoníaco en estas condiciones, y para obviar esto se agregaba sulfuro estannoso a la cal sodada.

En el primitivo método empleaba Kjeldahl (42), junto con el ácido sulfúrico, permanganato potásico. Terminado el ataque, destilaba la solución amoniacal sobre ácido sulfúrico  $n/20$  y añadía finalmente yoduro y yodato potásico, valorando el yodo libre con tiosulfato sódico. Para las sustancias difícilmente atacables, aconsejaba el empleo de ácido fosfórico.

En su aplicación y al lado de las ventajas prácticas ya indicadas, se observó, sin embargo, era defectuoso especialmente para los derivados en los que el nitrógeno está unido a uno o más átomos de oxígeno o a otro átomo de nitrógeno, así como para muchos compuestos heterocíclicos. Margosches y Vogel (52), al estudiar los nitrofenoles encontraron como hecho curioso que solamente se ataca-

ban los derivados en orto, mientras Sisley y David (79), comprobaron más tarde en las nitroanilinas, que las formas orto, inversamente al caso anterior, eran las únicas que resistían la acción del ácido.

En sustitución del permanganato, han sido empleados diversos tipos de catalizadores, tendiendo a corregir los diferentes defectos del método y mejorar los rendimientos: oxidantes (que pueden originar pérdidas de nitrógeno (24 y 40), sustancias que elevan la temperatura o aumentan la concentración del ácido, reductores, y reductores previos que favorecen el ataque posterior.

Es Wilfarth, en el año 1885, quien emplea el sulfato de mercurio (93), y algo más tarde el óxido mercúrico en mezcla con el pentóxido de fósforo (94). Ulsch (87) utiliza, junto con 10 g. de pentóxido de fósforo, 0,05 g. de óxido de cobre y 0,02 g. de cloruro de platino.

Jodlbauer usa cinc en polvo y ácido fenol-sulfúrico para conseguir la reducción completa del nitrógeno a amoníaco de los nitratos, nitritos, óxidos y cianuros. En suelos se mezcla la muestra con yeso calcinado finamente pulverizado; se añade ácido fenol-sulfúrico, enfriando, y después de cinco minutos, y bajo el chorro del agua, polvo de cinc y mercurio (2 gotas), hirviendo por último (92).

Asboth (8) y Arnold y Wedemeyer (7) emplean fenol, ácido salicílico o benzoico. El cloruro estannoso se ha indicado por diversos autores; así, Kruger (43) utiliza un líquido con mucho clorhídrico de cloruro estannoso y estaño precipitado, agregando más tarde el sulfúrico y el oxidante. Young y Sivani (97), Florentín y Vandenberghe (29) reducen los derivados nitrados y nitrosados con una solución titulada de cloruro estannoso, y valoran el exceso de reactivo con un licor de yodo.

Gunning (33) introduce el uso del sulfato potásico como elevador de temperatura, mientras Arnold y Wedemeyer (7) emplean una mezcla formada por 14 g. de sulfato potásico, 0,7 g. de sulfato de mercurio y 0,7 g. de sulfato de cobre. Flamand y Prager (27) reducen la sustancia con polvo de cinc y clorhídrico, empleando una vez terminado el proceso reductor una mezcla de sulfúrico (10 c. c.), sulfato potásico (6 g.) y sulfato de cobre (0,5 g.). Sisley (78) lleva a efecto el ataque sobre 0,5 g. de la sustancia con 20 c. c. de ácido, 10 g. de sulfato potásico y 0,5 g. de sulfato de cobre, durando la reacción de quince a treinta minutos. Villiers y Moreau-Talon (89) utilizan mercurio y sulfato potásico.

Alcock (4), sobre productos alimenticios emplea 40 g. de  $\text{SO}_4\text{Na}_2$



y 1,6 g. de  $\text{SO}_4\text{Cu}$  por 100 c. c. de sulfúrico durante un período de seis horas.

Para suelos, la A. O. A. C. norteamericana (9) emplea, con 10 gramos de muestra, 30 a 40 c. c. de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  y 10 g. de una mezcla formada por 10 partes de  $\text{SO}_4\text{K}_2$  o  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  anhidro, 1 parte de  $\text{SO}_4\text{Fe}$  y 1/2 parte de  $\text{SO}_4\text{Cu}$ , hasta decoloración del líquido.

Andersen y Jensen (5), junto al ácido sulfúrico (20 c. c.) se sirven de los sulfatos de potasio (10 g.), cobre (1 g.) y mercurio (0,75 g.), añadiendo un poco de polvo de grafito para conseguir una ebullición regular. Este método, aplicado a productos farmacéuticos (31), da mejores resultados que técnicas anteriores.

Stock (83) hace uso de la pirolusita (0,5 g.), Rivière y Bailbache (71) emplean el pirofosfato sódico, Atterberg (10) el sulfato potásico con anhídrido molibdico, Milbauer (55) el persulfato potásico mientras Steinitz (82) añade al persulfato hidróxido de titanio. Oefele (59) propone el pentóxido de vanadio, en tanto Marino y Gounell (53), adicionan al óxido (0,2 g.) sulfato potásico (7 g.). Crossley (21) emplea en carbones bituminosos la modificación de Oefele.

Fleury y Levaltier (28) consideran el cinc como excelente reductor y agregan ácido fosfórico al sulfúrico, mientras Sisley y David (79) recomiendan el ácido pirogálico. Carter (18) deja la sustancia en reposo con ácido salicílico y 5 c. c. de sulfúrico, añadiendo el resto del ácido mineral después. Buenos resultados sobre orto y paranitrofenoles, se obtuvieron con el polvo de cinc (90). Para nitro y azocompuestos se ha utilizado la solución saturada de tiosulfato sódico (77).

Bal emplea en suelos arcillosos de la India, con cultivo de algodón, sulfato de cobre y sulfato potásico y encuentra que añadiendo 50 centímetros cúbicos de agua destilada y agitando durante treinta minutos, obtiene cifras de nitrógeno superiores a las que resultan cuando se añade el ácido sobre el suelo seco, lo que se explica porque probablemente dichos suelos contienen material insoluble en el ácido concentrado, el que sirve de cemento y protección a la materia orgánica. Este hecho sólo ha sido observado en estos suelos tropicales (2).

Mach y Lepper (50) observan en alimentos que se obtienen iguales tiempos y valores con sulfato de cobre y sulfato potásico que con mercurio o sulfato de mercurio. Posteriormente se ha visto que el sulfato de cobre anhidro favorece el ataque más que el hidratado (11). Sobre harinas de pescado (66), el óxido de mercurio tiende a dar valores más altos que el sulfato de cobre. Willits, Coe y Ogg (96) obtie-

nen excelentes resultados en los compuestos nitrogenados heterocíclicos con 25 c. c. de ácido sulfúrico, 15 g. de sulfato potásico y 0,6 g. de óxido mercúrico, con un período de digestión de tres horas.

Prince (67) emplea para 10 g. de suelo 30 c. c. de sulfúrico, 0,7 gramos de óxido mercúrico (ó 0,65 g. de mercurio) y 5 a 10 g. de sulfato sódico anhidro, con un tiempo de digestión de una y media a dos horas, necesitándose posteriormente, al igual que en todos los casos en que interviene el mercurio, la adición de sulfuro potásico.

Empleado primeramente por Milbauer (56) el selenio y más tarde por Lauro (45) bajo la forma de oxiclورو, ha crecido rápidamente la literatura sobre este agente catalítico, que acorta notablemente el tiempo de ataque, bien que su uso parece disminuye los rendimientos en nitrógeno, pérdidas que también favorecen los catalizadores oxidantes en general, y la ebullición prolongada, necesaria en muchas ocasiones aún después de que el líquido esté incoloro.

Se confirma la mayor rapidez de la combustión con selenio que con sulfato de cobre por Tennant y col. (85). Sobre carbones se observa (20) al verificar una comparativa, en la que se empleaba de un lado mezcla formada por 11 partes de óxido mercúrico y 89 de sulfato potásico, y de otro 98 partes de sulfato potásico y 2 de selenio, un acortamiento del tiempo en el segundo caso. Beet (12) asocia el selenio con óxido mercúrico, al igual que Osborn y Krasnitz (60). Rich (70) emplea el oxiclورو de selenio y cobre. De quince a veinte minutos tarda la combustión con 20 c. c. de sulfúrico y 8 g. de una mezcla formada por 90 partes de sulfato sódico, 7 de sulfato mercúrico, 1,5 de sulfato de cobre y 1,5 de selenio en polvo por cada gramo de muestra (54).

Ranedo (68) estudia una serie de elementos como catalizadores, sobre 0,20 g. de fécula y 5 c. c. de sulfúrico, y hace una clasificación aproximada de ellos, según los tiempos empleados en las combustiones respectivas, señalando la acción retardatriz de algunos de los ensayados, especialmente aquellos pertenecientes al tercer grupo del sistema periódico. El selenio se muestra como uno de los más activos aceleradores y de acción más constante. Kurtz (44) emplea el selenio para verificar al mismo tiempo la determinación de nitrógeno y fósforo en fosfolípidos. Sánchez (72) emplea 36 elementos como catalizadores, entre ellos el selenio, confirmando como máximos activadores, juntamente con éste, el cobre y platino, no observando una relación determinada entre peso atómico y actividad catalítica en las familias de elementos estudiados.

Osborn y Krasnitz (61) comparan los efectos del selenio, óxido mercúrico, selenio más óxido mercúrico y selenio más sulfato cúprico. Se obtienen los mismos resultados con selenio más óxido mercúrico que con el óxido solo, pero hay una economía de un 25 por 100 de tiempo a favor de la mezcla. El selenio solo y el selenio más sulfato cúprico se muestran menos eficaces que el óxido mercúrico; cuando el tiempo de ataque aumenta, la posibilidad de pérdidas de nitrógeno aumenta en el siguiente orden: óxido mercúrico — selenio — selenio más óxido mercúrico. Este peligro se puede evitar usando mayores cantidades de ácido sulfúrico. Davis y Wise (23) no consideran satisfactorio siempre el uso del citado elemento catalítico.

Snider y Coleman (80) refieren en ensayos sobre trigo los efectos del óxido de mercurio, selenio, dióxido de selenio más cobre y oxiclورو de selenio. Una mezcla de 0,3 g. de dióxido de selenio y 0,05 g. de cobre, en vez de 0,5 g. de óxido mercúrico, reduce de un 15 a un 20 por 100 el tiempo necesario para las determinaciones. El oxiclورو de selenio no presenta ventajas sobre el óxido mercúrico.

Kitto (41) sugiere para sólidos (0,5 g.) o líquidos (2 c. c.) y en matraz de 100 c. c., 12,5 c. c. de la siguiente mezcla: 70 c. c. de sulfúrico con 50 de agua, 20 c. c. de perclórico al 20 por 100 y 15 g. de sulfato sódico, y adiciona a la solución resultante 1,15 g. de seleniato sódico por cada 100 c. c. Beet y Furzey (13) muestran es menor la pérdida de nitrógeno con mercurio más selenio (0,5 por 100) que con sulfato cúprico (2 por 100). Schwoegler y col. (74) encuentran un ahorro de tiempo con el selenito cúprico sobre los demás catalizadores. Campbell y Hanna (17), añaden selenio a una mezcla de sulfúrico y fosfórico (3:1) que contiene cobre. Una mejora en el tiempo necesario para el ataque se consigue (26) al agregar por cada centímetro cúbico de sulfúrico 20 mg. de una mezcla formada por una parte de selenito mercúrico y 24 partes de bisulfato potásico. Albiñana (3) utiliza una mezcla formada por una parte de selenio y siete de sulfato potásico con 20 c. c. de ácido sulfúrico sobre suelos (1 a 5 g., según su contenido en materia orgánica).

Patel y Sreenivasan (62) encuentran que un ataque prolongado de los compuestos orgánicos utilizando selenio como catalizador origina pérdidas apreciables de nitrógeno, obteniéndose mejores resultados con la mezcla de selenio y óxido mercúrico, lo que explican por la formación de complejos mercurioamónicos, más difíciles de oxidar que el catión amonio.

Sobre patatas (63) se observan bajos resultados de nitrógeno si la

cantidad de selenio es superior a 0,3 g. por gramo de sustancia. Asimismo Bradstreet (15) obtiene cifras bajas sobre compuestos orgánicos de fórmula definida (acetanilida y otros) si la cantidad de selenio pasa de 0,25 g.

Milbauer (57) hace un estudio muy interesante sobre diversas modificaciones del método y como sustancia a atacar por el ácido sulfúrico emplea sacarosa. Efectúa primeramente una serie de pruebas a 302° (temperatura constante mediante termostato), que repite a la temperatura de ebullición del ácido y experimenta diferentes catalizadores, obteniendo los resultados en minutos que expresa la tabla:

TABLA I

	A 302°	T. e. del Acido sulfúrico
Sin catalizador.....	1670	414
Selenio 100 mg.....	74	40
Oxido de mercurio 273,5 mg. equiv. a selenio 100 mg...	333	45
Sulfato de cobre 315 mg. (SO <sub>4</sub> Cu. 5H <sub>2</sub> O).....	318	52
Teluro 161 mg.....	279	72
Oro 248,7 mg.....	1205	93
Pentóxido de vanadio 114,8 mg.....	210	120
Platino 246,50 mg.....	480	144
Trióxido de antimonio 184 mg.....	750	204
Paladio 134,7 mg.....	1260	240
Sulfato de plata 197 mg.....	1360	248
Trióxido de arsenico 125 mg.....	1648	257
Sulfato de níquel 354,6 mg. (SO <sub>4</sub> Ni. 7H <sub>2</sub> O).....	2273	329

Con diferentes mezclas (100 por 100 SeO<sub>2</sub>=70,2 mg., 100 por 100 SO<sub>4</sub>Hg=187,4 mg., 100 por 100 OCu=50,2 mg., 100 por 100 SO<sub>4</sub>Ag<sub>2</sub>=94,4 mg. y 100 por 100 TeO<sub>2</sub>=100,7 mg), 50 mg. de sacarosa y 50 c. c. de ácido, obtuvo a 302° los siguientes tiempos expresados en minutos:

TABLA II

	100 : 0 %	95 : 5 %	90 : 10 %	85 : 15 %	80 : 20 %	75 : 25 %
Se + Hg.....	76	—	65	—	—	65
Hg + Cu.....	333	—	304	—	—	275
Cu + Se.....	318	105	83	80	—	75
Se + Ag.....	76	—	72	—	—	72
Ag + Cu.....	1360	690	470	343	326	320
Hg + Ag.....	333	—	288	—	—	278
Ag + Te.....	1360	665	—	—	440	—
Te + Cu.....	200	—	175	—	—	—
Te + Se.....	200	64	60	58	—	58
Te + Hg.....	200	174	170	—	178	—

TABLA III

	70 : 30 %	60 : 40 %	50 : 50 %	10 : 60 %	35 : 65 %	80 : 70 %
Se + Hg.....	—	—	70	—	—	—
Hg + Cu.....	—	258	250	243	—	—
Cu + Se.....	72	72	68	66	—	—
Se + Ag.....	—	—	80	—	90	—
Ag + Cu.....	—	—	295	—	—	—
Hg + Ag.....	—	292	310	—	—	—
Ag + Te.....	370	—	285	—	—	205
Te + Cu.....	173	—	180	—	—	—
Te + Se.....	—	—	65	—	—	—
Te + Hg.....	205	—	285	—	—	370

TABLA IV

	25 : 75 %	20 : 80 %	15 : 85 %	10 : 90 %	5 : 95 %	0 : 100 %
Se + Hg.....	76	—	83	94	160	333
Hg + Cu.....	245	—	—	265	—	318
Cu + Se.....	60	—	—	64	—	76
Se + Ag.....	105	115	128	154	226	1360
Ag + Cu.....	270	267	266	268	275	318
Hg + Ag.....	370	—	—	450	—	1360
Ag + Te.....	—	178	—	170	174	200
Te + Cu.....	194	—	226	—	270	318
Te + Se.....	80	87	95	106	130	76
Te + Hg.....	—	—	440	665	—	333

Con las mezclas de los tres catalizadores más enérgicos (bióxido de selenio, sulfato de cobre y sulfato mercúrico) no se han logrado resultados mejores que con las de dos de ellos solamente.

En tablas comparativas se presentan los valores obtenidos por 42 métodos diferentes, que pueden ser agrupados en cuatro tipos generales: primero, aquellos que usan sólo catalizadores; segundo, con agentes oxidantes únicamente; tercero, sustancias que elevan el punto de ebullición del ácido o aumentan la concentración del mismo; cuarto, mezclas de los grupos anteriores.

Representándose el tiempo de ataque sin catalizador, como 100 por 100, señala Milbauer como máximo activador la mezcla por él preconizada: sulfato mercúrico más dióxido de selenio (Hg:Se = 4:1), que reduce el tiempo a 3,5 por 100; la adición de anhídrido fosfórico a esta mezcla, baja T. a. a un 0,8 por 100.

Bradstreet (14) considera que mejora ligeramente los efectos del

sulfato de cobre-selenio, una mezcla a partes iguales de sulfato ferroso y selenio. Véne (88) recomienda sulfato potásico con sulfato mercúrico y selenio.

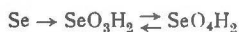
Jany y Morvay (37) citan cifras de nitrógeno más altas con mercurio que con cobre y selenio. Lloyd (49) con sulfato potásico-sulfato-mercúrico-selenio, en vez de sulfato potásico-sulfato de cobre, logra valores algo más altos de nitrógeno y acorta grandemente el tiempo de ataque.

Hinman y col. (35) emplean seleniato de cobre. Dalrymple y Brocks (22) encuentran que el tiempo necesario para conseguir el ataque completo en productos que contengan proteínas es menor con los seleniatos de cobre-cadmio-calcio (en este orden) que con selenio sólo, bien que la prolongada digestión origina pérdidas.

El teluro se ha mostrado como excelente catalizador dependiendo la velocidad de las cantidades empleadas (32). Bradstreet (16) encuentra que el teluro, sólo o juntamente con  $\text{SO}_4\text{Cu}$  o  $\text{SO}_4\text{Fe}$ , es preferible al selenio.

La acción catalítica del selenio y del teluro (36) es proporcional a las cantidades añadidas y se ha estimado que se ejerce a través de los ácidos selenioso y teluroso, respectivamente, que actúan como transportadores de oxígeno, si bien con menor intensidad el segundo, lo que explica la mayor actividad del selenio.

Sreenivasan y Sadasivan (81) encuentran que con el ácido sulfúrico, calentando, el Se y  $\text{SeO}_2$  pasan a  $\text{SeO}_3\text{H}_2$ , que es la forma estable. Añadiendo  $\text{SeO}_4\text{H}_2$  éste pasa a selenioso, bien que si hay OHg todas las formas de Se pasan a  $\text{SeO}_4\text{H}_2$ , incluso en presencia de materia orgánica. Cuando ésta está presente y no hay OHg el Se forma algo de selenioso. Este es reducido a Se durante el ataque y si hay algo de selénico pasa a selenioso y una parte de éste a Se. Terminado el ataque todo el selenio queda como ácido selenioso y si hay óxido como ácido selénico. En presencia del óxido mercúrico la catálisis se efectúa, según las reacciones,



y en ausencia de él, según



Se emplea también con frecuencia el agua oxigenada. En unos casos se recomienda al 30 por 100 (65), si bien no sirve para atacar grupos nitro. Jelinek (38), para dos gramos de harina, utiliza una

mezcla de 20 c. c. de agua oxigenada al 30 por 100, 25 c. c. de sulfúrico y 1 g. de sulfato mercurioso, durando el ataque unos 30 minutos. La adición del oxidante se puede efectuar en varias veces (19 y 73).

Ha sido empleado el perclorato potásico (39). El perclórico se usa también como catalizador (41, 46 y 47); sobre leche, orina, sangre, etc., se ha comprobado que origina pérdidas de nitrógeno (91). Pepkowitz, Prince y Bear (63) utilizan sulfato sódico y oxiclورو de selenio, calentando 10 minutos; añaden después de enfriamiento ácido perclórico al 35 por 100 y calientan suavemente por espacio de 10 a 15 minutos; método que aplicado a suelos tiende a dar resultados bajos. Mallol (51) presenta una técnica rápida basada en la asociación del perclórico con el selenio, bien que, posteriormente, otros autores (69) parece ser no han obtenido buenos resultados con esta técnica.

Stubblefield y De Turk (84) obtienen con fosfato dipotásico, sulfato férrico y mercurio, resultados coincidentes con la modificación Gunning-Arnold y el tiempo se reduce a una quinta parte.

El empleo de bicromato potásico (76) da cifras bajas de nitrógeno, particularmente en urea, cafeína, ácido úrico. Sobre material biológico (0,2-0,5 g.) se consiguen buenos resultados, con 5 c. c. de mezcla anhídrido crómico-ácido sulfúrico (1).

De uso corriente en los laboratorios suecos es la técnica de Lund-ing, Ellburg y Riehn (48), que verifican el ataque mediante una mezcla de 3 partes de ácido sulfúrico y 2 de fosfórico y adicionan cobre, sulfato mercurioso y agua oxigenada. Tristram (86) da a conocer una combinación de macro y micro Kjeldahl, con excelentes resultados y como catalizador, sulfato sódico, sulfato cúprico y seleniato sódico.

El efecto de los compuestos halogenados es estudiado por Modeer (58) en trigos, observándose bajan en general los rendimientos obtenidos. Errores analíticos en trigos y harinas son objeto de estudio por Geddes y Milton (30); particularmente en la destilación, por Schulek y Vastagh (74).

El grado de exactitud del método Kjeldahl respecto al de Dumas, ha sido motivo de atención en varios trabajos. En productos agrícolas en general y especialmente harinas de trigo (6), el primero da resultados más bajos que el segundo, no existiendo estas diferencias sobre gluten. Dumazert y Marcelet (26) obtienen con su modificación resultados prácticamente iguales a los dados por el método Dumas, y

es muy pequeña la diferencia a favor de éste en la microdeterminación del nitrógeno ordinario. El empleo de mezclas de ataque que contengan mercurio (34) da valores de nitrógeno tan altos como los obtenidos por el método de Dumas

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) ACHARYA, C. N., y RAO, K. S. K. 1941. *Current. Sci.* 10: 526.
- (2) ALBAREDA, J. M. 1940. El suelo: 373. S. A. E. T. A. Madrid.
- (3) ALBIÑANA, T. 1943. *Anal. Inst. Edaf.* 2: 3.
- (4) ALCOCK, R. S. 1946. *Analyst.* 71: 233.
- (5) ANDERSEN, A. C., y JENSEN, B. N. 1926. *Z. Anal. Chem.* 67: 427.
- (6) ANNE, P. 1934. *Ann. Fals.* 27: 220.
- (7) ARNOLD y WEDEMAYER. 1891. *Z. Anal. Chem.* 31: 525.
- (8) ASBOTH. 1886. *Chem. Zentr.* 17: 161.
- (9) Association of Official Agricultural Chemists. 1945. Method of Analysis A. O. A. C.: 4. Washington.
- (10) ATTERBERG, A. 1898. *Chem. Ztg.* 22: 505.
- (11) BEATTY, C. 1943. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 15: 476.
- (12) BEET, A. 1932. *Fuel.* 11: 196.
- (13) ——— y FURZEY, D. G. 1936. *J. Soc. Chem. Ind.* 55: 108-9T.
- (14) BRADSTREET, R. B. 1938. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 10: 696.
- (15) ——— 1940. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 12: 657.
- (16) ——— 1949. *Anal. Chem.* 21: 1012.
- (17) CAMPBELL, W. R., y HANNA, M. I. 1937. *J. Biol. Chem.* 119: 1.
- (18) CARTER, P. H. 1930. *Chemist. Analyst.* 19, 2: 151.
- (19) CARTIAUX, J. 1940. *Ann. Chim. Anal. Chim. appl.* 22: 92.
- (20) CROSSLEY, H. E. 1932. *J. Soc. Chem. Ind.* 51: 237, 8T.
- (21) ——— 1940. *Fuel.* 20: 144.
- (22) DALRYMPLE, R. S., y BROOKS KING, G. 1945. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 17: 403.
- (23) DAVIS, C. F., y WISE, M. 1933. *Cereal Chem.*: 488.
- (24) DELEPINE. 1906. *Bull. Soc. Chim.* 35: 8.
- (25) DUMAZERT, C., y MARCELET, I. 1937. *Compt. Rend. Soc. Biol.* 126: 945.
- (26) ——— y MARCELET, I. 1938. *Bull. Soc. Biol.* 20: 201.
- (27) FLAMAND y PRAGER. 1905. *Ber.* 38: 559.
- (28) FLEURY y LEVALTIER. 1927. *Bull. Soc. Chim.* 37: 330.
- (29) FLORENTIN y VANDENBERGHE. 1920. *Bull. Soc. Chim.* 27: 158.
- (30) GEDDES, W. F., y MILTON, N. 1939. *Cereal Chem.* 16: 393.
- (31) GIFFEN, H. J. VAN. 1933. *Pharm. Wceksblad.* 70: 1005.
- (32) GNESIN, I. D. 1937. *Farm. Zhur.* 2: 104.
- (33) GUNNING. 1887. *Z. Anal. Chem.* 28: 188.
- (34) HILLER, A.; PLAZIN, J., y VAN SLYKE, D. D. 1948. *J. Biol. Chem.* 176: 1401.
- (35) HINMAN (JR.), J. J.; KEITH, W.; WEEBER, R. v RUPERT, R. 1940. *Proc. Iowa Acad. Sci.* 47: 213.
- (36) ILLARIONOV, V. V., y SOLOVEVA, N. A. 1935. *Z. Anal. Chem.* 100: 328.



- (37) JÁNY, J., y MORVAY, A. 1938. *Z. Anal. Chem.* 114: 120.
- (38) JELINEK, B. 1937. *Bull. Anciens Elèves Ecole Franc.*: 233.
- (39) KAHANE, E. 1934. L'action de l'acide perchlorique sur les matières organiques et ses applications à la chimie analytique. Paris.
- (40) KEMPF. 1905. *Ber.* 38: 3972.
- (41) KITTO, W. H. 1934. *Analyst.* 59: 733.
- (42) KJELDAHL, J. 1883. *Anal. Chem.* 22: 366.
- (43) KRÜGER. 1894. *Ber.*: 27, 609, 1633.
- (44) KURTZ, F. E. 1933. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 5: 260.
- (45) LAURO, M. F. 1931. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 3: 401.
- (46) LE TOURNEUR-HUGON y CHAMBIONNAT. 1936. *Ann. Fals.* 29: 227.
- (47) LEMATT; BOINOT y KAHANE. 1927. *J. Pharm. Chem.* 5: 325.
- (48) LUNDIN, H.; ELLBURG, J., y RIEHN, H. 1935. *Z. Annal. Chem.* 102: 161.
- (49) LLOYD, D. J. 1939. *J. Intern. Soc. Leather. Trades. Chem.* 23: 275.
- (50) MACH, F., y LEPPER, W. 1929. *Landw. Vers. Sta.* 109: 363.
- (51) MALLOL, A. 1945. *Rev. R. Academ. Ciencias.* 39: 207.
- (52) MARGOSCHES y VOGEL. 1922. *Ber.* 55: 1380.
- (53) MARINO y GOUNELL. 1924. *Atti. de R. Acad. dei Lincei.* 23. I.: 523
- (54) MESSMAN, H. C. 1932. *Cereal Chem.* 9: 357.
- (55) MILBAUER, J. 1903. *Berichte der bohm. gelehrten Gesellschaft.*
- (56) ——— 1907. *Z. Physik. Chem.* 57: 661.
- (57) ——— 1938. *Z. Anal. Chem.* 111: 397.
- (58) MODEER, E. 1940. *Univ. Wyoming. Pub.* 7: 13.
- (59) OSEFELE. 1911. *Pharm. Zentralkalle.* 52: 1121.
- (60) OSBORN, R. A., y KRASNITZ, A. 1933. *J. Assoc. Offic. Agr. Chem.* 16: 110.
- (61) ——— y KRASNITZ, A. 1934. *J. Assoc. Offic. Agr. Chem.* 17: 339.
- (62) PATEL, S. M., y SREENIVASAN, A. 1948. *Anal. Chem.* 20: 63.
- (63) PEKOWITZ, L. P.; PRINCE, A. L., y BEAR, F. E. 1942. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 14: 856.
- (64) PIPER, C. S. 1938. *Austral. Chem. Inst. Proc.* 5: 312.
- (65) POE, CH., y BARTLETT, T. D. 1936. *J. Am. Pharm. Assoc.* 25: 419.
- (66) POTTS, T. J.; BARHAM, M. A., y SCHAFER, I. M. 1947. *J. Assoc. Offic. Agr. Chem.* 30: 648.
- (67) PRINCE, A. L. 1945. *Soil. Sci.* 59: 47.
- (68) RANEDO, J. 1933. *Anal. Soc. Esp. Fis. y Quím.* 31: 195.
- (69) RIBAS, I., y LÓPEZ CAPONT, F. 1948. *Anal. Fis. Quím.* 44 (B): 483.
- (70) RICH, C. E. 1932. *Cereal Chem.* 9: 118.
- (71) RIVIERE y BAILBACHE. 1896. *Bull. Soc. Chim.* 15: 806.
- (72) SÁNCHEZ, L. 1945. Tesis doctoral. Madrid.
- (73) SARUDI, I. 1941. *Z. Untersuch. Lebensm.* 82: 451.
- (74) SCHULEK, E., y VASTAGH, G. 1933. *Z. Anal. Chem.* 92: 352.
- (75) SCHWÖGLER, E. J.; BABLER, B. J., y HURD, L. C. 1936. *J. Biol. Chem.* 113: 749.
- (76) SHEWAN, J. M. 1935. *J. Soc. Chem. Ind.* 54: 172.
- (77) SIMEK, B. G. 1931. *Chem. List.* 25: 322.
- (78) SISLEY. 1899. *Bull. Soc. Chim.* 21: 708.
- (79) ——— y DAVID. 1929. *Bull. Soc. Chim.* 45: 312.
- (80) SNIDER, S. R., y COLEMAN, D. A. 1934. *Cereal Chem.* 11: 414.

- (81) SREENIVASAN, A., y SADASIVAN, V. 1939. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 11: 314;  
*Z. Anal. Chem.* 116: 244.
- (82) STEINITZ, K. 1938. *Mikrochem. Acta.* 3: 110.
- (83) STOCK. 1893. *Z. Anal. Chem.* 32: 237.
- (84) STUBBLEFIELD, F. M., y DE TURK, E. E. 1940. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*  
12: 936.
- (85) TENNANT, J.; HARRELL, H. L., y STULL, A. 1932. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*  
4: 410.
- (86) TRISTRAM, R. G. 1940. *Trans. Inst. Rubb. Ind.* 16: 261.
- (87) ULSCH, K. 1886. *Z. Anal. Chem.* 25: 579.
- (88) VÉNE, J. 1938. *Bull. Soc. Sci. Bretagne.* 15: 49.
- (89) VILLIERS y MOREAU-TALÓN. 1918. *Bull. Soc. Chim.* 23: 308.
- (90) WEIZMANN, M.; YOFE, J., y KIRZEN, B. 1930. *Z. Physiol. Chem.* 192: 70.
- (91) WICKS, L. F., y FIRMINER, H. I. 1942. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 14: 760.
- (92) WIEGNER-PALLMANN. 1938. *Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen  
Praktikum*: 89. Verlag von Gebrüder Borntraeger. Berlin.
- (93) WILFARTH, H. 1885. *Z. Anal. Chem.* 24: 455.
- (94) ——— 1886. *Z. Anal. Chem.* 25: 152.
- (95) WILL y VARRENTRAP. 1841. *Liebigs Ann.* 39: 257.
- (96) WILLITS, C. O.; COE, M. R., y OGG, C. L. 1949. *J. Assoc. Offic. Agr.  
Chem.* 32: 118.
- (97) YOUNG y SIVANI. 1897. *J. Am. Chem. Soc.* 19: 812.

## N O T A S

### EXPEDICION EDAFOLOGICA A GUINEA

El interés que el conocimiento de los suelos de nuestra Guinea implica, tanto desde el punto de vista científico como del aprovechamiento agrícola e industrial de los mismos, ha determinado a la Dirección General de Marruecos y Colonias, a organizar, en colaboración con el Instituto de Estudios Africanos e INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA, una expedición de estudio a dicha Colonia. La expedición, que ha salido últimamente, está formada por los siguientes investigadores: Prof. Dr. Angel Hoyos de Castro, Catedrático de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia de Granada y Jefe de la Sección de Química Analítica del INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA en dicha población, como encargado del estudio químico y fertilidad del suelo; Prof. Dr. Walter Kubierna, Consejero de Honor del C. S. I. C., Profesor agregado del INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA y una de las más destacadas figuras de la Ciencia del Suelo, y Dr. José M.<sup>a</sup> Fuster Casas, Profesor adjunto de Petrografía y Estratigrafía y Ayudante del Instituto «Lucas Mallada», de Geología, del C. S. I. C., que ya anteriormente, en los años 1948 y 1949, formó parte de dos expediciones a Guinea, con objeto de estudiar los caracteres petrográficos del territorio.

### NUEVOS COLABORADORES DEL INSTITUTO

Terminadas las oposiciones a Colaboradores Científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, han obtenido plaza los siguientes miembros de nuestro INSTITUTO:

*Geología.*—Dres. D. Antonio Guerra Delgado y D.<sup>a</sup> Antonia María Medina Ortega.

*Física.*—Dr. D. Manuel Demetrio Alvarez-Estrada y Fernández-Castrillón.

*Química.*—Dres. D. Enrique Fernández Caldas y D. Francisco Pino Pérez.

## PENSIONADOS

Han sido pensionados por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, para los puntos que se indican, los siguientes miembros del INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA:

Dr. D. Antonio Guerra Delgado, al Servicio Edafológico Belga, en Lovaina.

Prof. Dr. D. Fermín Capitán García y D. Rafael Gallego Andreu, para Lovaina y Wageningen, donde llevarán a cabo estudios sobre suelo y planta.

Dr. D. Valentín Hernando Fernández, a Lovaina, para efectuar trabajos sobre fertilidad de suelos.

D. Ramón Fábregas y D. Angel Guerra Delgado, a la Estación Agronómica Nacional de Sacavem (Portugal), para trabajar sobre Cartografía de Suelos.

## BIBLIOGRAFIA

JAMES BONNER: *Plant Biochemistry*.—1950. Academic Press. Inc. New York. XVII + 537 págs.

En tanto que la bioquímica que pudiéramos llamar animal ha sido ampliamente estudiada y un gran número de investigadores dedicaban sus esfuerzos a resolver sus problemas, la bioquímica vegetal no recibió una atención paralela.

Las dificultades eran indudablemente mayores. Hay que reconocer que las plantas no son sujetos apropiados para la investigación bioquímica clásica. El metabolismo intermedio no se puede seguir como en los animales a través de la sangre, contenidos estomacal o intestinal, excreciones, etc. A lo sumo se puede recurrir al análisis de determinadas partes, raíces, hojas o frutos.

Los trabajos actuales sobre la bioquímica de los microorganismos parece ser que constituirán una aportación de gran valor para estudiar no sólo las plantas, sino también los animales superiores. En el libro que comentamos se comprueba que muchos de los avances realizados en las distintas ramas de la bioquímica vegetal contribuyen a establecer la semejanza básica existente en los procesos metabólicos de todos los organismos, tanto vegetales como animales.

La obra de Bonner consta de una breve introducción seguida de seis partes en las que el autor estudia los hidratos de carbono y su metabolismo, la membrana celular y su metabolismo, ácidos vegetales y respiración de las plantas, metabolismo de los compuestos nitrogenados, productos vegetales secundarios y algunos aspectos del desarrollo vegetal. El libro, escrito en forma clara y amena, se encuentra al día en todo lo que se refiere a la bioquímica vegetal.—J. GARCÍA VICENTE.

E. BERNARD: *Nouveaux procedes simplifies d'ensilage*.—1950. (Encyclopédie Paysanne «La Terre».) Ernest Flammarion. Paris.

Es indudable que el constante incremento experimentado en los últimos decenios, por este procedimiento de conservación de los forrajes, no se ha producido en nuestra patria, especialmente si se le compara con países como Dinamarca, Finlandia, Holanda e Inglaterra.

Sin duda hay que atribuir a los naturales temores de nuestros campesinos una gran culpa de este retraso, pero no es menos cierto el que también en parte se debe a la poca atención que al estudio del mismo se ha dedicado.

La enorme penuria de alimentos a que se ve sometida la población ganadera de Europa, provocada por las dificultades de importación de concentrados, obliga al aprovechamiento máximo de las producciones propias de cada país; de lo contrario se corre el riesgo de poner en difícil trance su producción ganadera.

Se impone pues el conseguir la autarquía forrajera, a base de una mayor producción de alimentos y al mismo tiempo con un contenido más alto de materias nitrogenadas, lo cual será posible con el mejoramiento de los métodos de cultivo y de conservación.

El libro que comentamos se debe a la pluma de E. Bernard, Secretario General de la Confederación Nacional de Cría de Ganado, y en el mismo se tratan estos temas con el acierto y la autoridad que dan una treintena de años dedicados al cultivo de forrajes, de cría de ganado y de práctica y estudio del ensilado.

La obra se halla dividida en cinco partes, en las cuales va sucesivamente tratando, después de hacer unas consideraciones generales sobre las ventajas del método, los siguientes puntos: el silo y su construcción, plantas que se deben ensilar, práctica del ensilado y utilización del mismo en la composición de las raciones.

Marca a lo largo de este trabajo las directrices necesarias para la producción, conservación y utilización del forraje ensilado, lo que permite al criador de ganado disponer de las necesarias reservas forrajeras producidas en condiciones económicas favorables, que asegurarán una alimentación acuosa, equilibrada, rica y fácilmente digestible capaz de mantener en perfecto estado de salud y productividad las especies domésticas.

La óptica conservación de los forrajes es el complemento impres-

cindible si se quiere no malograr las ventajas que con la fertilización y mejora de los medios de cultivo, podamos conseguir en la producción y calidad de nuestras cosechas; por eso se puede decir que la conservación del forraje tierno tiene tanta importancia como su misma producción.

Para el conocimiento inicial de estos problemas puede resultar grandemente fructífera la lectura de la obra de E. Bernard.—A. SUÁREZ.

H. H. READ: *Geología*. Introducción a la historia de la tierra. (Traducción).—1949. Breviarios del fondo de Cultura Económica, número 14. México-Buenos Aires, 219 págs.

El autor presenta al lector de forma suficientemente amena para mantener su interés, la historia de la tierra a través de las cinco partes de este libro que, como obra de divulgación, llena completamente su cometido de forma original.

Detallado en todos los puntos que toca, se observa quizá la falta de algún gráfico más aclaratorio, siempre conveniente para facilitar la lectura. Presenta los diferentes puntos de vista en cada cuestión e incluso incluye la clasificación de las rocas en neptúnicas o sedimentarias, volcánicas y plutónicas, agrupando así con el nombre que primeramente usó Lyell las rocas de formación profunda.

Como es lógico, dada la brevedad de la obra, tiene que suprimir toda discusión de las diferentes hipótesis, lo que conduce a veces a una ligera confusión de ideas.

Los grabados son muy demostrativos y como ya dijimos antes, su único defecto sería el corto número de ellos (30) para una obra de divulgación de este tipo.

Para mantener el interés de la obra sigue un proceso deductivo, incluyendo los elementos de ella a medida que los va necesitando. Añadé una nota bibliográfica sobre otras obras que pudieran ser interesantes para ampliar las distintas partes tratadas.

Es lástima que en la traducción se hayan deslizado algunos errores en la traslación de nombres de sobra conocidos para pasar desapercibidos. La presentación y el formato son adecuados.—V. HERNANDO.

- I. ANDERSON and N. D. ANDERSON: *A Dictionary of Scientific Terms*. 1949. 4.<sup>a</sup> edición, por John H. Kenneth. Oliver and Boyd, 98 Great Russell Street. Londres.

La primera edición de este diccionario apareció a la luz en 1920, siendo publicadas la 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> en los años 1929 y 1939, respectivamente. En cada edición sucesiva se fué tratando de aumentar el número de términos, inicialmente superior a los diez mil, y añadiendo nuevas definiciones. La terminología biológica constantemente se va incrementando, y es demasiado numerosa para intentar condensar a totalmente en una obra de la naturaleza de este diccionario. Si como libro su volumen no llama la atención por pequeño, para ser un diccionario es de un volumen reducido. Esto explica y justifica que se note la falta de algunos términos científicos, concretamente botánicos. Pero, esto no resta valor a la obra si se tiene en cuenta que no es fácil hallar diccionarios técnicos de esta naturaleza, a veces tan necesarios en el laboratorio como lo pudiera ser cualquier otro instrumento del mismo.

La 4.<sup>a</sup> edición del *Dictionary of Scientific Terms* aparece aumentada en unos dos mil términos no incluidos en la tercera. Tiene unas notas iniciales dedicadas a la pronunciación de los términos de origen griego y latino, lo cual no deja de ser interesante y curioso, si se tiene en cuenta que el científico inglés no suele respetar la pronunciación latina, sino que lo hace siguiendo las normas de pronunciación de la lengua inglesa. Después hay tablas con equivalentes entre las medidas del sistema imperial y las del sistema métrico decimal, y a continuación están expuestos alfabéticamente los términos científicos más generales de Botánica, Zoología, Anatomía, Cito'ogía, Fisiología y Embriología.—E. VIEITEZ.



## REVISTAS DEL PATRONATO «ALONSO DE HERRERA»

*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.

Semestral. Ejemplar, 30 pesetas. Suscripción, 50 pesetas.

*Anales de Edafología y Fisiología Vegetal*.—Publicación del Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal.

Continuadores de los «Anales del Instituto de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal». Abiertos a una amplia colaboración, recogen en sus páginas trabajos sobre suelos y fisiología vegetal, tanto del Instituto de origen como de otros Centros investigadores españoles y extranjeros y, asimismo, estudios de tipo informativo y bibliográfico.

Bimestral. Ejemplar, 20 pesetas. Suscripción, 100 pesetas.

*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.

*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.

*Genética Ibérica*.—Publicación del Instituto «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 de Microbiología General y Aplicada.

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



---

Precio: 20 ptas.

Tommo Xc. Nám. 4. A. I. B. S. D. H. A. I. O. L. O. G. I. A. V. E. G. E. T. A. L. j. m. i. l. o. - a. g. o. s. t. o. 1951