

CONSTITUCION MINERALOGICA DE LAS ARCILLAS (1)

P O R

J. M.^a ALBAREDA HERRERA

Secretario del Consejo de Investigaciones Científicas

Si nos preguntan qué diferencia existe entre una roca y un suelo, nosotros, químicos, pensamos inmediatamente en acudir a la composición química para encontrar una diferenciación precisa. Pero una roca tiene componentes diversos que varían entre límites amplísimos, y a un suelo le pasa lo mismo. Por eso no es difícil buscar un conjunto de análisis químicos de rocas y suelos con casos en los que la composición de una roca y un suelo sean semejantes. Así nos presenta Pallmann estos análisis de un granito y una tierra parda de Suiza:

%	Granito de Quervain [1]	Tierra parda de Hermiswil [2]
SiO ₂	74,00	75,21
Al ₂ O ₃	12,86	12,00
Fe ₂ O ₃	2,72	2,05
MgO	0,86	1,12
CaO	1,63	0,97
Na ₂ O	2,88	2,44
K ₂ O	3,77	3,49
MnO	0,03	0,09
TiO ₂	0,51	0,49
P ₂ O ₅	0,11	0,15



(1) Conferencia pronunciada en el curso de verano de la Universidad de Oviedo el 9 de septiembre de 1943.

Podríamos pensar, con una apreciación inmediata y vulgar, que la consistencia es la diferencia principal entre roca y suelo, pero una roca triturada no es todavía un suelo.

Si nosotros determinamos la humedad de la roca y del suelo, mediante la desecación en una estufa, encontramos una diferencia considerable: el suelo tiene una humedad muy superior a la de la roca. Si suelo y roca, ésta triturada, los ponemos en disposición de ser impregnados por agua, aparecen en el suelo patentes fenómenos de imbibición que afectan a la cantidad y a la retención del líquido.

Y si del agua pasamos a la disolución de un electrolito, nos encontramos con que el suelo opera sobre el electrolito una variación de composición que no tiene lugar o lo tiene muy escasamente, en el caso de la roca: es el conocido cambio de bases, ya descrito con precisión hace aproximadamente un siglo por el químico inglés Way, por el que cationes del electrolito son absorbidos mientras que una cantidad equivalente de otros cationes que tenía el suelo pasan a la disolución.

Decimos que la roca triturada no llega a ser aún un suelo, y la finura del reactivo fisiológico nos atestigua esta diferencia. El desarrollo vegetal es muy distinto en un caso y en otro, y la capacidad de desarrollar una vegetación es el carácter que Lundegardh considera esencial para definir un suelo. En climas favorables al desarrollo de la vegetación, y en parajes montañosos, condiciones que se dan intensamente en Asturias, nos asomamos al paisaje y contemplamos el contraste entre el tapiz continuo de los prados y las paredes gigantes de las rocas desnudas.

Existe, pues, un conjunto de propiedades que caracterizan al suelo, propiedades que hay que asignar a su carácter de sistema disperso (Wiegner); son propiedades coloidales.

Los geógrafos nos presentan la diferencia que existe entre África y Europa (3). El continente africano es, como Flovenius lo ha definido, «un gigante macizo y rudo, un bloque compacto: es inmenso y amorfo, cerrado y mudo en todos sus frentes». África tie-

ne una extensión territorial tres veces superior a la de Europa y un desarrollo de costas por Km.² de superficie cuatro veces inferior. Este contraste entre un bloque continental de contorno escaso y un sistema de tierras dispersas se presenta en Oriente con Australia y el conjunto de archipiélagos oceánicos. «El continente africano es pesado e inerte para la vida del mar; en ningún momento de su historia ha conocido una actividad marítima propia».

Los sistemas dispersos son sistemas activos, y así el suelo, sistema disperso, ofrece una posibilidad de cambios y reacciones que no tiene la roca y que lo hacen apto para empalmar con el conjunto coloidal biológico que constituye el sistema radicular de la vegetación.

El suelo se forma no sólo con los productos de erosión de las rocas, sino con los productos de descomposición de los restos y residuos orgánicos. Hay en su formación un conjunto de procesos petrogénicos y un conjunto de procesos biogénicos. Como resultado de esa erosión y descomposición nos encontramos con las fracciones coloidales inorgánica y orgánica, la arcilla y el humus. El desarrollo de la investigación confirma e intensifica la importancia que arcilla y humus tienen como elementos esenciales y caracterizadores del suelo.

La arcilla tiene, pues, el doble carácter de producto de erosión y de fracción inorgánica activa del suelo.

Mostrar los análisis químicos de una roca y de un suelo con valores aproximadamente semejantes, no es demostrar analogía de composición química entre roca y suelo. Porque si comparamos un suelo, no con una roca elegida para nuestro objeto de señalar semejanzas, sino con la roca de que aquel suelo procede, encontramos una diferencia de composición correspondiente al proceso químico de formación del suelo. No abordamos el tema de estudiar específicamente tipos de rocas y tipos de suelos derivados de ellas, pero sabemos que, de un modo general, se pasa de la roca al suelo con una pérdida de ácido silícico, de bases, materiales que transportan las aguas de los ríos hacia el mar.

La erosión produce, físicamente, una disgregación por la que la roca se fracciona en grava, en arena, mientras que la acción química realiza una descomposición que llega al material de limos y arcillas. El agua actúa por muy diversos caminos en esta diversidad de acciones y constituye el medio de dispersión del material coloidal y al mismo tiempo forma las soluciones del suelo, que son soluciones nutritivas de las plantas y aportaciones a los arroyos y ríos.

La acción erosiva rebaja las montañas y rellena el mar. Se calcula que los Alpes pierden mil metros de altura cada veinte mil años, y el espesor de los depósitos sedimentarios de la Europa Central desde el cámbrico llega a doce kilómetros.

Conocido el volumen de los océanos (1.370 millones de Km.³) y la salinidad media (34,85 ‰) se tiene el peso de las sales disueltas: 47.745 billones de toneladas que ocupan un volumen 21,6 millones de Km.³, seis veces el volumen de la Europa emergida (4).

La mayor cantidad de material disuelto que los ríos aportan al mar es la caliza (557.670.000 toneladas; 20,37 ‰) y le sigue la sílice coloidal (317.170.000 toneladas; 11,67 ‰) (5). El suelo queda como un archipiélago apretado o como las partículas de un filtro en esa gigantesca corriente de lavado.

A medida que el tamaño de las partículas ha ido disminuyendo, ha aumentado su actividad, su capacidad de absorción, la capacidad de reacción entre fase dispersa—arcilla—y medio de dispersión—soluciones—que son los productos de mayor dispersión en el proceso erosivo.

Arena gruesa	menos de	0,01	miliéq.
Arena fina	menos de	0,01	por gr.
Arcilla kaolín		0,04	» (N. Cernescu)
Arcilla Belgische		0,12	» »
Arcilla Putnam		0,84	» (H. Lenny)
Bentonita		1,12	» (H. Pallmann)
Zeolita	aproximadamente	4,00	» (N. Cernescu)
Humus	aproximadamente	4,00	» (C. Pallmann)

En el estudio de la constitución de la arcilla mineralógica se ha pasado, como observa Correns (6), por un período de decadencia al que ha seguido, en los últimos años, un prestigio creciente. De una parte, la consideración coloidal de la arcilla desplazó el interés hacia los fenómenos de superficie, relegando a situación secundaria la composición química de la micela, y de otra el desarrollo de la escuela edafológica rusa, en el pasado siglo, había anulado la importancia del material petrográfico originario del suelo, para hacer depender enteramente el carácter del suelo de la naturaleza del clima.

La Coloidequímica planteó, como en casos de materias semejantes, una dualidad de opiniones: especie química o gel amorfo. Análisis químicos y experiencias sintéticas. (Gans, Stremme, Sigmond), no lograron nada concluyente en favor de su tesis estequiométrica. Wiegner, reanudando el criterio coloidal que tan rotundamente expresó van Bemmelen, consideró la micela silícico—alumínico—férrica, como resultante de una coagulación de los coloides silícicos, negativos, y los hidróxidos alumínico y férrico, positivos, mostrando la falta de fundamento que existe para buscar en el gel amorfo resultante de esa neutralización eléctrica el cumplimiento de proporciones estequiométricas (7).

Mattson (8) ha preparado más de un centenar de sistemas constituidos de una parte por la solución coloidal de los hidróxidos alumínico o férrico, y de otra por soluciones de hidróxidos, fosfatos, silicatos, ácidos húmicos, fosfohúmicos, silícico-húmicos, bentonita. Variando sistemáticamente las proporciones mezcladas, ha podido pasar de sistemas coloidales positivos a negativos a través de la zona intermedia de coagulación en la que se encuentra el precipitado isoelectrico, y ha mostrado la variación de composición de los precipitados isoelectricos con el pH.

El estudio de la variación de propiedades de la arcilla con la naturaleza de los cationes ha sido desarrollado con amplitud (7). Para el estudio de los suelos tiene particular interés la variación de propiedades determinadas por los cationes hidrógeno, sodio, cal-

cio (9). El estado de agregación del suelo está ligado a su estructura más o menos coagulada o dispersa. El material tiene una estabilidad y una conservación o, por el contrario, una capacidad de lavado y depósito que depende de la naturaleza y de la concentración de los cationes.

Las micelas dispersas se prestan al transporte mientras que los coágulos forman agregados. La dispersión está ligada, según Kruit (10) a dos factores: al potencial electrocinético y a la hidratación de las partículas. Ambos factores estabilizan el estado coloidal. El coloide estable puede ser deshidratado (alcohol, calor, etc.) y se mantiene estable si conserva su carga eléctrica, y puede ser descargado (pequeña concentración de electrolito) y se mantiene estable si conserva su hidratación; pero la descarga y la deshidratación lo coagulan, como muestra el esquema de Pallmann. (Fig. 1).

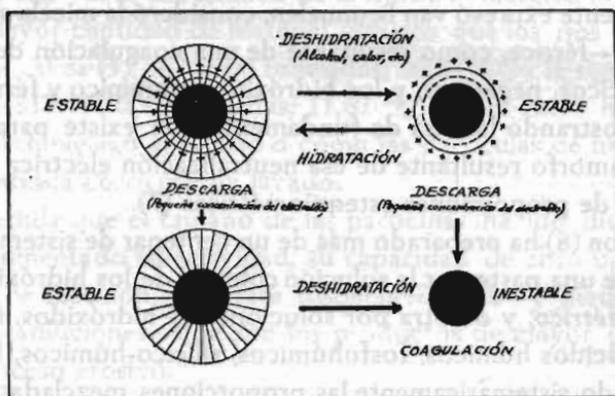


Figura 1

Sabemos la importancia que en química analítica ofrece la coagulación de precipitados coloidales para la filtración. Pues el suelo es un filtro, y lo atraviesan con facilidad las dispersiones coloidales, mientras quedan detenidos los geles. Los cationes coagulantes serán un freno y un obstáculo al lavado que se realizará fácilmente en las condiciones de dispersión.

La distinta hidratación de los cationes influye en las propiedades de la arcilla. Pallmann nos da los siguientes valores de los radios iónicos secos e hidratados (11):

Diámetro del ion	Seco	Hidratado	Hidratación dada en moléculas H ₂ O por ión.
H+.....	0,7 Å	10,8 Å	
Li+.....	1,56 »	7,32 »	10,0
Na+.....	1,96 »	5,62 »	4,3
K+.....	2,66 »	3,76 »	0,9
Rb+.....	2,98 »	3,62 »	0,5
Cs+.....	3,30 »	3,60 »	0,2
Mg++.....	1,56 »	10,8 »	33,0
Ca++.....	2,12 »	9,6 »	22,0
Sr++.....	2,54 »	9,6 »	21,0
Ba++.....	2,86 »	8,8 »	17,0

Y nos ofrece esta representación gráfica de la superficie micelar. (Fig. 2).

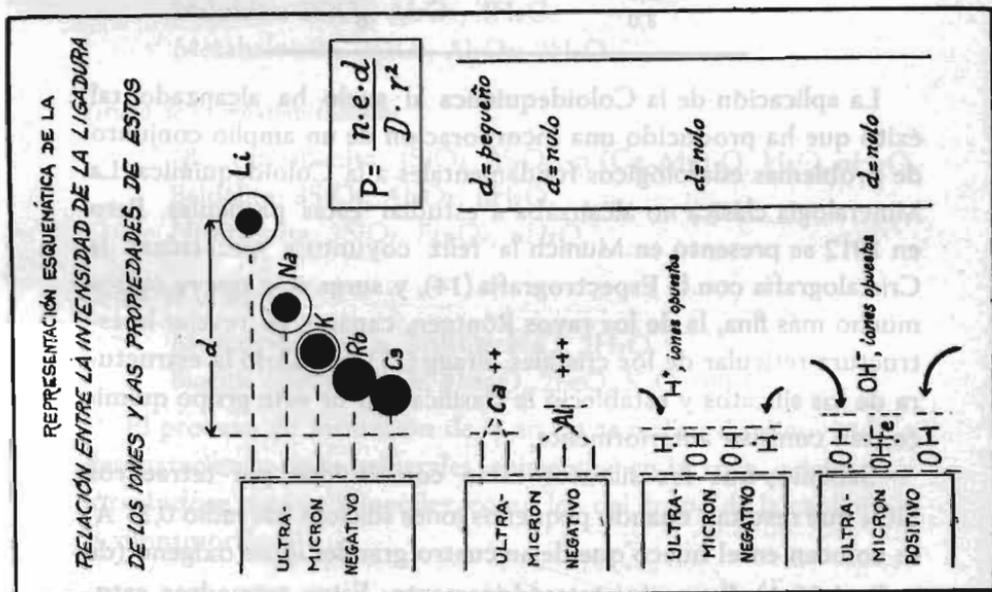


Figura 2

El potencial electrocinético aumenta con la distancia entre las dos capas; así aparece en las siguientes experiencias (12):

Arcilla Li	74,9 milivolts.
Arcilla Na	69,0 milivolts.
Arcilla K	68,2 milivolts.
Arcilla Ca	30,6 milivolts.
Arcilla Ba	22,5 milivolts.

Al aumentar la concentración de las suspensiones disminuye el potencial de las partículas por retroceso de la disociación de la micela (13).

Gramos de arcilla bentonita —H en 100 cm. ³ de suspen- sión.	Potencial de las partículas en milivolts.
0,1	58
0,6	50
1,0	48
2,0	20
3,0	6

La aplicación de la Coloidequímica al suelo ha alcanzado tal éxito que ha producido una incorporación de un amplio conjunto de problemas edafológicos fundamentales a la Coloidequímica. La Mineralogía clásica no alcanzaba a estudiar estas partículas. Pero en 1912 se presentó en Munich la feliz coyuntura que enlaza la Cristalografía con la Espectrografía (14), y surge una nueva óptica mucho más fina, la de los rayos Röntgen, capaces de revelar la estructura reticular de los cristales. Bragg (15) descubrió la estructura de los silicatos y estableció la clasificación de este grupo químico, tan confuso anteriormente.

Sabemos que los silicatos están constituídos por tetraedros SiO_4 que resultan cuando pequeños iones silícicos (de radio 0,35 Å) se colocan en el hueco que dejan cuatro grandes iones oxígeno (de radio 1,35 Å) dispuestos tetraédricamente. Estos tetraedros satu-

ran con cationes sus cargas negativas. Pueden quedar independientes (olivino) o enlazarse formando cadenas que a diferencia de las del carbono no son entre silicio y silicio, sino a través de oxígenos puente. Se sabe que pueden existir cadenas cerradas (berilo) de variable número de tetraedros formadores del anillo y cadenas abiertas, sencillas o dobles (piroxenos y anfíboles); cadenas que ligándose lateralmente forman bandas o redes planas (talco, mica, serpentina), o el enlace puede ser en las tres direcciones formando redes tridimensionales (feldespatos); este es el caso más complicado, que nos lo ofrece, por ejemplo, la red de la chabasita.

Los minerales de la arcilla tienen red laminar. El conjunto de minerales encontrados en la arcilla puede agruparse así (16):

MINERALES DE LA ARCILLA

Grupo de la caolín:

Caolín: $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$.

Haloisita: $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 4\text{H}_2\text{O}$.

Metahaloisita: $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$.

Grupo de la montmorillonita:

Montmorillonita: $4\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, n(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O}, \text{H}_2\text{O}, n\text{H}_2\text{O}$.

Beidelita: $3\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$.

Nontronita: $3\text{SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$.

Grupo de la mica:

Moscovita: $6\text{SiO}_2, 3\text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}$.

Biotita: $6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 4\text{MgO}, 2\text{FeO}, \text{K}_2\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}$.

El proceso de formación de la arcilla se realiza disminuyendo o desapareciendo unos minerales existentes en la roca originaria y formándose nuevos minerales, como los del grupo de la caolinita y la montmorillonita.

En las rocas eruptivas del mundo se calcula la siguiente composición mineral media (5):

Cuarzo	12 %
Feldespatos	60 %
Hornblenda y augita	18 %
Micas	4 % y para los
demás minerales queda el	6 %

A medida que disminuye el tamaño de las partículas varía la proporción de los distintos minerales y el cuarzo disminuye rápidamente (17). También disminuye en las fracciones medias para el feldespato, mientras las micas pasan a ser minerales de la arcilla, y con ellas los silicatos nuevamente formados. (Fig. 3).

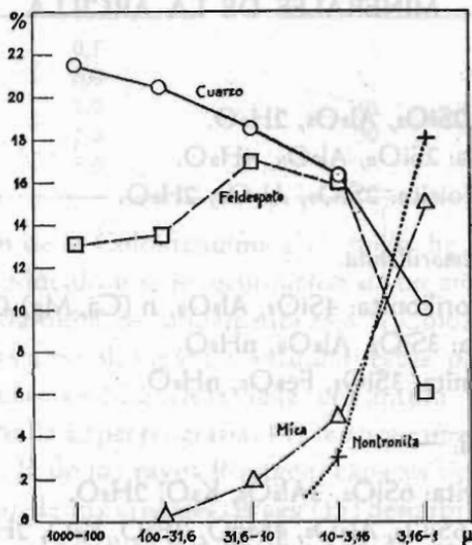
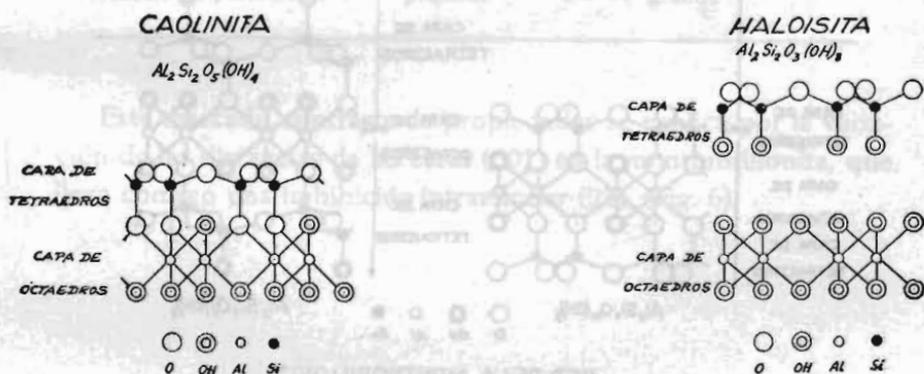


Figura 3

Porcentaje de la distribución mineral en fracciones de partículas de tierra cultivada de Bobzin (Mecklenburgo) según W. v. Engelhardt. Los porcentajes se refieren a los minerales, exceptuando el cuarzo. Para el cuarzo están multiplicadas por cuatro.

La naturaleza de estos minerales determina el carácter de los suelos. Existe un contraste de comportamiento entre los suelos cuyas arcillas son de naturaleza de la caolinita y aquéllos en los que predominan los minerales del grupo de la montmorillonita. La red cristalina de estos minerales es la siguiente. La caolinita, según Gruner (18), está constituida por una capa de tetraedros silícicos y otra capa de tetraedros alumínicos ligados mediante átomos comunes de oxígeno; así como el silicio ocupa el centro de los cuatro átomos de oxígeno dispuestos tetraédricamente, el átomo de aluminio se dispone en el centro de seis grupos de oxígenos dispuestos en posición octaédrica. La haloisita tiene una estructura más suelta y según Mehmel (19) consiste en las dos mismas capas de tetraedros silícicos y octaedros alumínicos, pero desligados, sin átomos de oxígeno comunes. (Fig. 4). Ya a bajas temperaturas, por



REDES DE LA CAOLINITA Y DE LA HALOISITA

Figura 4

pérdida de agua, se forma la metahaloisita, que tiene estructura análoga a la de la caolinita. Esta pierde agua a altas temperaturas, procedente de los grupos hidroxilos, con destrucción de la red.

Nótese que en la composición de la montmorillonita existen moléculas de agua, es decir, una cantidad no precisada. La fórmu-

la varía en distintos autores, y es que el silicio puede ser sustituido por el aluminio dentro del tetraedro; y también pueden ser sustituidos en el octaedro dos átomos de aluminio por tres de magnesio. Esta sustitución se realiza teniendo en cuenta la semejanza del ion, pero no es preciso que su valencia sea igual.

Según Hofmann (20) la red de la montmorillonita consta de dos capas de tetraedros silícicos ligadas a una capa intermedia de octaedros aluminicos. Edelman (21) propone una estructura que difiere de la de Hofmann en que en los planos terminales del paquete silícico-alumínico no existen átomos de oxígeno constituyentes de las bases de los tetraedros silícicos, sino grupos hidroxilos. (Fig. 5).

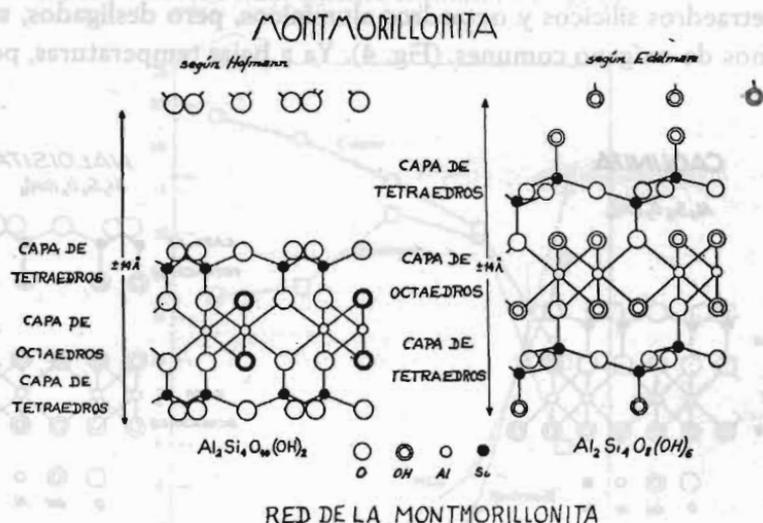


Figura 5

La diferencia esencial en el comportamiento de las redes de la caolinita y de la montmorillonita resulta en que en la primera los paquetes silico-alumínicos se disponen a una distancia fija, mientras que en la montmorillonita los paquetes silícico-alumínico-silícico se separan y varían su distancia, dando lugar a la absorción de agua, a la imbibición.

Existe un contraste de propiedades entre la caolinita y la montmorillonita:

Propiedades	Caolinita	Montmorillonita
Espacio interlaminar	angosto. 2,8 Å	amplio y variable. 10-30 Å
Superficie	sólo externa	interna considerable
Capacidad de agua	escasa	grande
Imbibición intracristalina	no	sí
Capacidad de adsorción.	5 milieq.	100 milieq.
Reacciones de cambio de (bases) cationes	muy rápida (sólo externa)	lenta.
Dispersión	difícil	fácil.
Dilución de soles	con escasa viscosidad	con alta viscosidad
Tipotropía	confusa	marcada
Número de plasticidad	pequeño	grande

Este marcado contraste de propiedades se explica por la variación de las distancias de las caras (001) en la montmorillonita, que lleva consigo una imbibición intramicelar (22). (Fig. 6).

VARIACIÓN DE LA DISTANCIA DE LOS
PLANOS RETICULARES [001] POR IMBI-
BICIÓN INTRAMICELAR EN LA MONT-
MORILLONITA

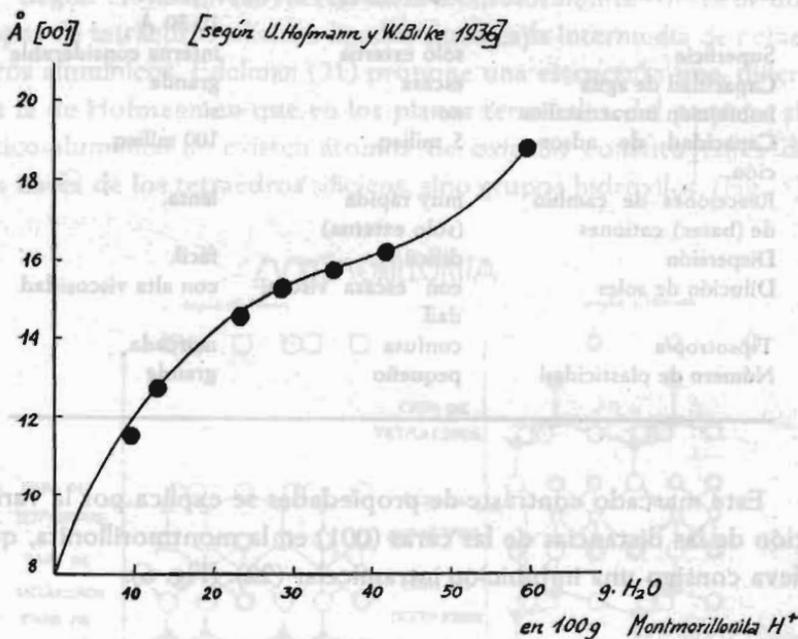


Figura 6

La diferencia esencial en el comportamiento de las redes de la celofibrina y de la montmorillonita resulta en que en la primera los pequeños iones-alumínicos se disponen a una distancia fija, mientras que en la montmorillonita los pequeños iones-alumínicos se sitúan a una distancia variable, al absorber agua, a la hidratación.

En la chabasita esta distancia intramicelar es de 4 a 5 Å y en el cuarzo inferior a 2. Este hecho determinado por U. Hofmann y W. Bilke (23) había sido puesto de relieve análogamente en el ácido grafitico. (Fig. 7).

AUMENTO DE LA DISTANCIA DE LOS PLANOS RETICULARES

[001] POR IMBIBICIÓN INTRAMICELAR EN EL

ACIDO GRAFITICO

[Según U. Hofmann y A. Frenzel 1930]

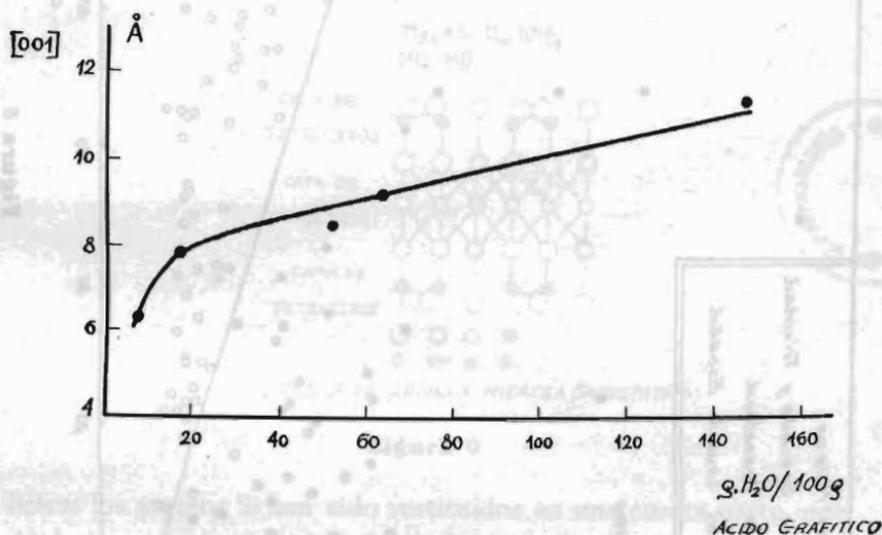


Figura 7

Aparece muy clara la escasa intensidad de las propiedades coloidales en la caolinita. Estudiando suelos caoliniticos de la península de Malaca (24) encontramos cantidades considerables de arcilla y, sin embargo, la capacidad de absorción del suelo es muy escasa. En la figura 8 se advierte el contraste entre esos suelos y,

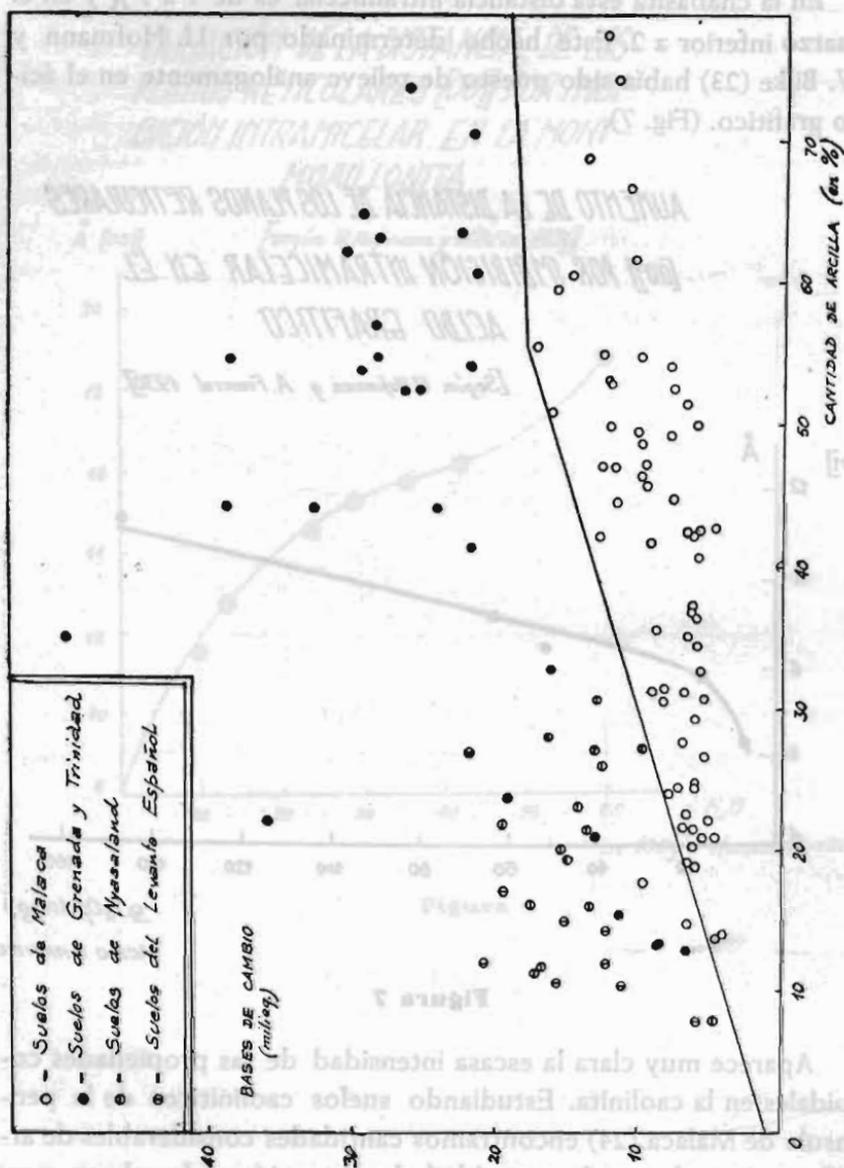


Figura 8

por ejemplo, los del Levante español, que con una cantidad mucho más pequeña de arcilla presentan una capacidad de absorción

mucho mayor, sin que la materia orgánica justifique esta diferencia. Las estructuras de las micas pertenecen igualmente, como las anteriores, a las redes laminares o planas. Estas estructuras explican las variaciones en la composición química de las micas (25). Jackson (26) ha propuesto un esquema de estructura de la moscovita. Un mineral micáceo encontrado en la arcilla, *sarospatita*, ha sido descrito por Hofmann y Maegdefrau (27). La estructura de la *sarospatita* consta de dos capas tetraédricas de silicio ligadas por una octaédrica de aluminio o magnesio. (Fig. 9). En las capas si-

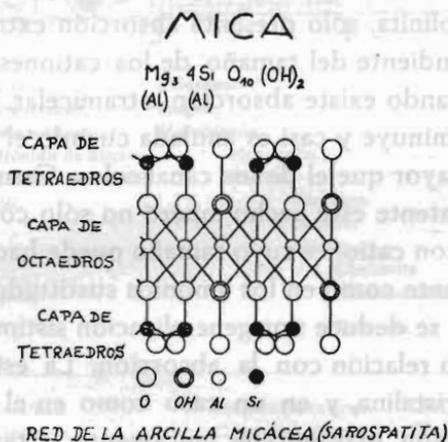


Figura 9

lícicas los átomos Si han sido sustituidos en una cuarta parte por Al. La carga negativa procedente de esta sustitución se compensa por cationes que se sitúan en la red entre los paquetes de las capas silíceo-alumínico-silíceas.

El estudio de estas estructuras ha venido a explicar las diferencias entre la capacidad de absorción por fenómenos de bloqueo. Una masa continental puede estar surcada por ríos y canales navegables, de cuyo caudal y dimensiones depende su capacidad para la navegación. Así los materiales absorbentes pueden tener canalículos interiores, de absorción intramicelar o puede ser tal la

posición reticular que no pueden penetrar en el interior los iones adsorbibles, presentándose solamente una posibilidad de adsorción intramicelar. En la caolinita se da este caso. Los espacios existentes entre los paquetes silícico-alumínicos no son *navegables*. Los espacios intramicelares, es decir, las distancias entre las caras (001), son angostos, inaccesibles.

A. Hoyos ha realizado un estudio de la estructura cristalina de algunas arcillas españolas (28). Por sólo las determinaciones de adsorción Cernescu (29) había llegado a mostrar la distinta estructura de la caolinita, la permutita y la chabasita. En el material que, como la caolinita, sólo presenta absorción extramicelar, ésta aparece independiente del tamaño de los cationes absorbidos, mientras que cuando existe absorción intramicelar, la capacidad de absorción disminuye y casi es anulada cuando el tamaño de los cationes es mayor que el de los canalículos. Cernescu, para mostrar de modo patente este hecho operó no sólo con los cationes alcalinos, sino con cationes cuyo tamaño puede hacerse variar tan considerablemente como en los amonios sustituidos.

De aquí se deduce una generalización sistematizadora de las estructuras en relación con la absorción. La estructura puede ser amorfa o cristalina, y en un caso como en el otro puede presentarse absorción extramicelar únicamente o también intramicelar. Pallmann nos ofrece este gráfico en el que describe los distintos materiales que pueden citarse como ejemplo de estos cuatro tipos de materiales absorbentes. (Fig. 10).

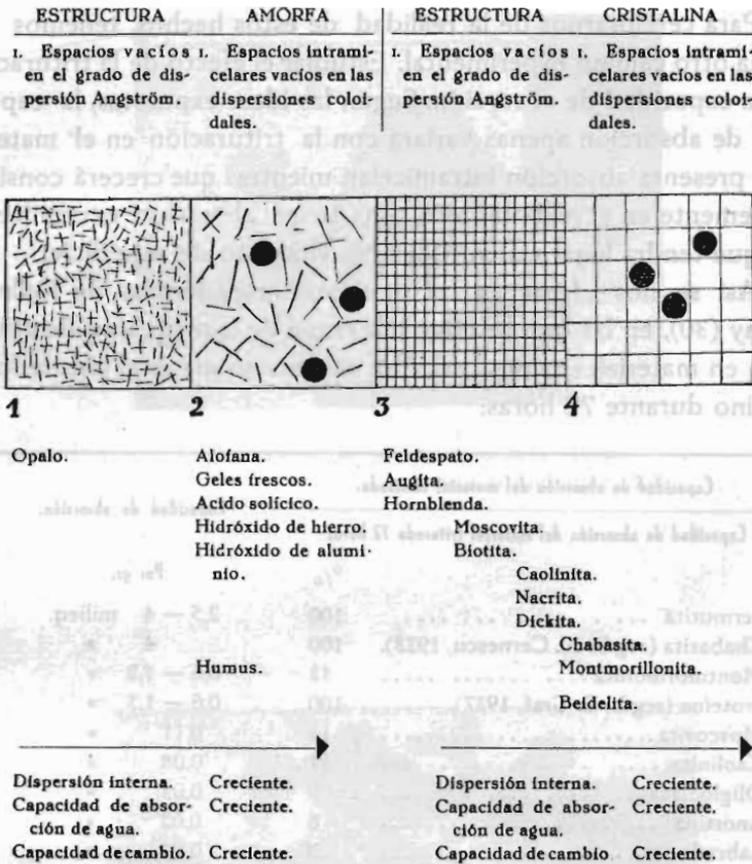


Figura 10

Hay experimentos en que la columna para la estructura de una capacidad de absorción de 8 miliseg. por 100 g. a 100 miliseg. mientras que la estructura pasa de 1,20 miliseg. a 2,88 y la permitividad permanece con la estructura en una capacidad de 225 miliseg. por 100 g.

Para penetrar en la naturaleza de esta materia dispersa inorgánica del suelo, se ha acudido recientemente al microscopio electrónico.

Para cerciorarnos de la realidad de estos hechos, tenemos todavía otro camino experimental. Estudiar el efecto de la trituración en la capacidad de absorción. Según las ideas expuestas, la capacidad de absorción apenas variará con la trituración en el material que presenta absorción intramicelar, mientras que crecerá considerablemente en el material que sólo tenga absorción extramicelar, ya que tendrá lugar un considerable aumento de superficie.

Así se nos ofrece en las siguientes experiencias de Kelley y Jenny (30), en las que se calcula la razón de la capacidad de absorción en materiales tamizados y en ese mismo material triturado en molino durante 72 horas:

Capacidad de absorción del material tamizado		Capacidad de absorción.	
Capacidad de absorción del material triturado 72 horas		Por gr.	
	%		
Permutita	100	2,5 — 4	milieg.
Chabasita (según N. Cernescu, 1933).	100	4	»
Montmorillonita	53	0,6 — 1,2	»
Proteína (según E. Graf, 1937).	100	0,6 — 1,5	»
Moscovita	13	0,11	»
Caolinita	11	0,08	»
Oligoclasa	9	0,03	»
Anortina	8	0,02	»
Labradorita	8	0,02	»
Biotita	4	0,03	»
Pirofilita	4	0,04	»
Ortoclasa	4	0,05	»
Albita	1	0,01	»

Hay experiencias en que la caolinita pasa, por trituración, de una capacidad de absorción de 8 milieg. por 100 gr. a 100,5 milieg., mientras que la bentonita pasa de 126 milieg. a 238, y la permutita permanece con la trituración en una capacidad de 225 milieg. por 100 gr.

Para penetrar en la naturaleza de esta materia dispersa inorgánica del suelo, se ha acudido recientemente al microscopio electró-

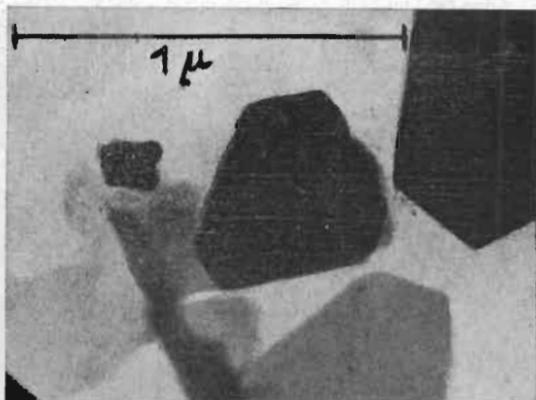


Imagen con el microscopio electrónico de la coalinita.
(Tamaño de partícula $< 0,6 \mu$)

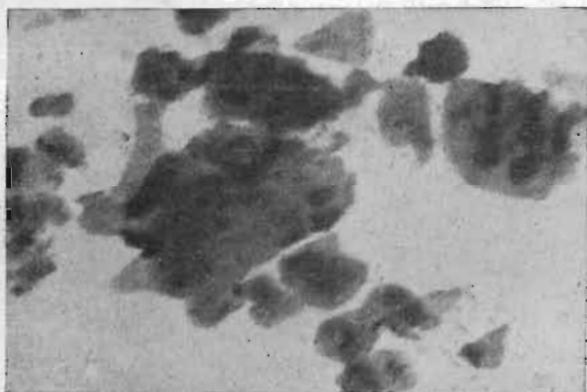


Imagen con el microscopio electrónico de un suelo de África
occidental.
(Tamaño de partícula $< 0,3 \mu$)



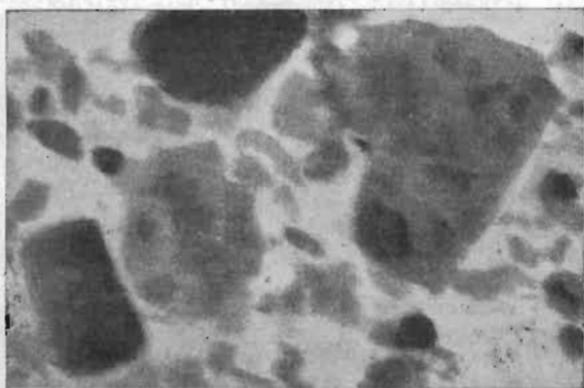


Imagen con el microscopio electrónico de un suelo de Hannover.

(Tamaño de partícula $< 0,3 \mu$)



Imagen con el microscopio electrónico de la sarapatita.

(Tamaño de partícula $< 0,6 \mu$)

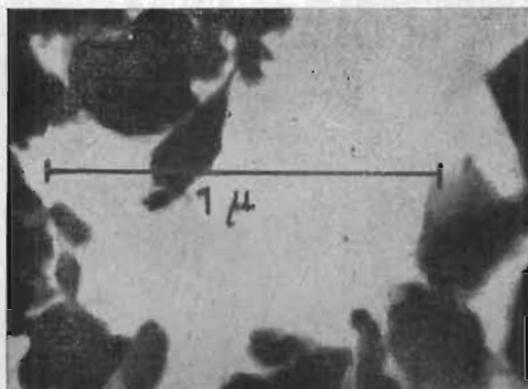


Imagen con el microscopio electrónico de una arena cuarcífera
(Tamaño de partícula $< 0,3 \mu$)

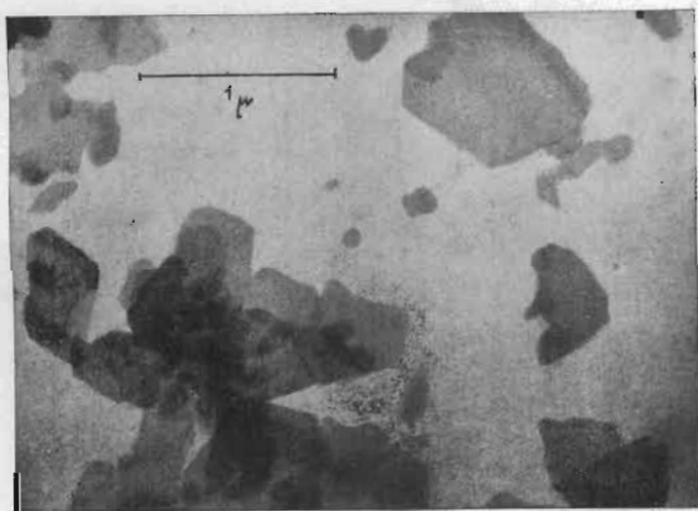


Imagen con el microscopio electrónico de un mineral arcilloso micáceo
(Tamaño de partícula $< 0,3 \mu$)

nico (31). Se obtienen imágenes de la caolinita como placas exagonales muy definidas. La montmorillonita, por dificultades técnicas, no ha dado imágenes definidas de cristales, sino nubosidades en las que se agrupan partículas sueltas de contornos imprecisos. Las micas se muestran como placas cristalinas más claras y menos profundamente coloreadas que las de la caolinita, y sus exágonos están delimitados menos agudamente. También se muestran características las imágenes de los granos de cuarzo.

Estas imágenes se pueden reconocer en el suelo, y Jacob muestra las imágenes de varios suelos en los que se advierte la presencia de estos minerales.

BIBLIOGRAFIA

- 1.—*P. Niggli, F. de Quervain, R. U. Winterhalter.*—Chemismus schweizerischer Gesteine. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechn. Serie, XIV, 259, 1930.
- 2.—*J. Geering.*—Landw. Jahrbuch der Schweiz, 178, 1936.
- 3.—*M. de Terán.*—«Las grandes vías naturales del continente africano». Africa, número 1, 13.
- 4.—*F. Lotze.*—Steinsalz und Kalisalze. Geologie. Berlín, 1938, pág. 24.
- 5.—*F. W. Clarke.*—The data of Geochemistry. U. S. Geol. Survey, Bull. 770.
- 6.—*C. W. Correns.*—Mineralogische Untersuchungen an Böden. Bodenk. u. Pflanz., **21-22**, 656, 1940.
- 7.—*J. M.^a Albareda.*—«El suelo». Madrid, 1940, pág. 244.
- 8.—*S. Mattson.*—«The Laws of Soil Colloidal behavior». Soil Science, serie de artículos publicados de 1929 a 1932.
- 9.—*A. Stebutt.*—Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde. Berlín 1930, pág. 230.
- 10.—*H. R. Kruyt y H. C. Brungenberg de Jong.*—Zur Kenntnis lyophilen Kolloide. Koll.—Chem. Beih., **28**, 1, 1929. H. R. Kruyt y H. J. C. Tendeloo. Zur Kenntnis der lyophilen Kolloide. IV. Koll.—Chem. Beih., **29**, 413, 1929.
- 11.—*G. Wiegner.*—Kolloidchemie und Bodenkunde. IX Cong. Int. de Química Pura y Aplicada.—Madrid, 1934, t.^o VII. *H. Pallmann.*—Zur physikalischen Chemie des bodens. Erdbaukurs der E. T. Hochschule. Zurich, 1938.
- 12.—*J. M.^a Albareda.*—Determinación de velocidades cataforéticas. An. de la Soc. Española de Fis. y Quím., **29**, 697, 1931.
- 13.—*H. Freundlich, O. Schmidt und G. Lindau.*—Über die Thixotropie von Bentonit—Suspensionen. Koll.—Chem. **Beih.**, 36, 78, 1932.
- 15.—*W. H. y W. L. Bragg.*—The crystalline state. Londres, 1933, t.^o I, pág. 133.
- 16.—*F. Scheffer y P. Schachtchabel.*—Handbuch der Bodenlehre, Berlín, 1939, t.^o XI, pág. 278.

17.—*W. Laatsch*.—Dynamik der Deutschen Acker-und Waldböden. Dresden y Leipzig, 1938, pág. 49.

18.—*J. W. Gruner*.—The crystal structure of kaolinite. Z. Kristallogr. Leipzig, **83**, 75, 1932. The crystal structure of nacrite and a comparison of certain optical properties of the kaolin group with its structures. id. id. **85**, 1933. Densities and structural relationships of kaolinites and anauxites. Am. Miner., **22**, 855. 1937.

19.—*M. Mehmel*.—Über die Struktur von Halloysit und Metahalloysit. Z. Kristallgr., Leipzig, **90**, 35, 1935.

Beitrag zur Frage des Wassergehaltes der Minerale Kaolinit, Halloysit und Montmorillonit. Chemie der Erde, Jena, **11**, 1, 1937.

Anwendung optischer und röntgenographischer Methoden bei der Untersuchung der Tone. Ber. d. Deutschen keram. Ges., Berlin, **47**, 549, 1938.

20.—*U. Hofmann, K. Endell y D. Wilm*.—Röntgenographische und kolloidchemische Untersuchungen über Ton. Angew. Chem., Berlin, **47**, 539, 1934.

21.—*C. H. Edelman*.—Moderne inzichten inzake kleimineralien. Landb. Tijdschr. Wageningen, **49**, 358, 1937. Derselbe, F. A. van Baren u. J. Ch. L. Favejee: Mineralogische onderzoekingen aan kleien en kleimineralien. Mededeelingen van Landbouwhoogschool, Wageningen, **43**, acta 4, 1, 1939.

22.—*U. Hofmann y W. Bilke*.—Innerkristalline Quellung und Basenaustauschvermögen. Koll.—Zeitschr., **77**, 246, 1935.

23.—*U. Hofmann y A. Frenzel*.—Quellung von Graphit und die Bildung von Graphitsäure. Ber. d. Deutsches Chemischen. Gessellschaft, **63**, 1248, 1930.

24.—*J. M.^a Albareda*.—Caracterización de suelos tropicales y subtropicales mediante determinaciones físicas y fisicoquímicas. Rev. Academia de Ciencias. Madrid. **31**, 320 y 457, 1934.

25.—*Klochmann y P. Ramdohr*.—Lehrbuch der Mineralogie. Stuttgart, 1936, página 508.

26.—*W. W. Jackson*.—Z. Kristalog. A. Erg. Band. **2**, 143, 1937.

27.—*E. Maegdefrau y U. Hofmann*.—Glimmerartige Mineralien als Tonzubstanzen. Z. Kristallogr., Leipzig, A, **98**, 31, 1937.

28.—*A. Hoyos*.—Análisis röntgenográfico de algunas arcillas españolas. Anales del Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal, **1**, 121, 1942.

29.—*N. Cernescu*.—Anuarul Institutului Geologie al Romaeniei, **16**. 7, 1933.

30.—*W. P. Kelley y H. Jenny*.—Soil Science, **41**, 367, 1936.

31.—*A. Jacob y H. Loofmann*.—Untersuchungen mit dem Elektronen-Mikroskop an einheitlich zusammengesetzten Bodenmineralien < 2 μ . Bodenk. u. Pflanz. **21-22**, 666, 1940.

A. Jacob.—Untersuchungen über die Zusammensetzung der Tonfraktion des Bodens. Bodenk. und Pflanz., **29**, 219, 1943.