

ANALES DE EDAFOLOGIA Y FISILOGIA VEGETAL

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Anal. Edaf. Tomo X, Número 5. Pág. 461-560. Madrid, sepbre.-octbre. 1951

ANALES DE EDAFOLOGIA Y FISIOLOGIA VEGETAL

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

Centro de Estudios del Tabaco. Sevilla. Estación Experimental de Aula Dei. Zaragozaza.	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 FISIOLOGIA VEGETAL
Serrano, 113. Madrid (España).

TOMO X.

NUM. 5.

SUMARIO

	Páginas
ALBAREDA, J. M. ^a ; ALEIXANDRE, V. y SÁNCHEZ CALVO, M. ^a C.: Contribución al estudio de las rocas españolas del Silúrico (II).	461
SEQUEIROS, J. M. ^a y GALBIS, J. A.: Estudios sobre fertilidad química en suelos tabacaleros españoles.—I. La distribución del fósforo inorgánico en suelos silico-húmicos de Cáceres y Avila.....	507
CALLAO, V. y VIGARAY, J.: Estudios sobre la fermentación del esparto.—I. Flora aerobia de la fermentación en el enriado experimental.....	525
WILLIAMSON, W. T. H.: Civilizaciones y suelos.....	537

INFORMACION

NOTAS.—Reunión internacional de Química-Arcilla con propiedades terapéuticas.—Viaje a Gotinga.—Pensionados.—Dos científicos extranjeros en el Instituto.—Sociedad Española de Ciencia del Suelo.....	551
--	-----

BIBLIOGRAFÍA

SELMAN A. WAKSMAN: *The Actinomycetes. Their nature, Occurrence Activities and Importance* (555).—ALBERT DEMOLÓN et ALBERT MARQUIS: *Le Phosphore et la Vie* (556).—FIRMAN E. BEAR et al.: *Hunger Sings in Crops, A Symposium* (557).—*Bibliography of the Literature on the Minor Elements and their Relation to Plant and Animal Nutrition* (559).

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LAS ROCAS ESPAÑOLAS DEL SILURICO (II)

por

JOSE M.^a ALBAREDA, VICENTE ALEIXANDRE
y M.^a DEL CARMEN SANCHEZ CALVO

El estudio anteriormente iniciado sobre las pizarras españolas del Silúrico (2) lo hemos ampliado y completado en el sentido de estudiar, por un lado, nuevas muestras de rocas, y por otro, aplicar nuevas técnicas a todas ellas, estudiando de una manera especial la fracción arcillosa de las pizarras. Se han tomado, además, distintas muestras de suelos correspondientes a diferentes perfiles formados sobre estas rocas, cuyo estudio será objeto de una publicación posterior.

El estudio que nos hemos propuesto ha sido el siguiente:

1.º Estudiar una serie de pizarras arcillosas cuyas condiciones de sedimentación estén definidas por los datos de la Geología clásica y la Paleogeografía de la época de su depósito. Puede ocurrir que todas las rocas nacidas en condiciones semejantes tengan un constituyente común y recíprocamente que las rocas con constituyentes comunes hayan nacido en condiciones semejantes.

2.º Un estudio analítico de estas muestras tan completo como sea posible utilizando las técnicas últimamente conocidas, llevando nuestro mayor esfuerzo al estudio de la fracción verdaderamente arcillosa de estas rocas.

3.º Comparar los resultados y comprobar hasta qué punto los grupos de minerales arcillosos pueden caracterizar un determinado medio de sedimentación, y buscar, si es posible, una relación causal entre una constitución dada y su medio de génesis con ayuda de las hipótesis geoquímicas aceptadas hoy día.

4.º Un estudio edafológico de los suelos derivados de esas piza-

rras, juntamente con el estudio mineralógico de la fracción arcillosa extraída de esos suelos.

Con esto queremos aportar nuestra labor al estudio de las rocas arcillosas sedimentarias en función de su génesis y de los suelos derivados de ellas.

El estudio de la naturaleza de las rocas arcillosas y de su génesis ya ha sido iniciado. Pero si tenemos en cuenta que sólo desde hace veinte años han podido utilizar los petrógrafos las técnicas modernas en la determinación de sus minerales, y que, además, continuamente aparecen otras nuevas que modifican las existentes, queda justificado que no haya aparecido aún una comparación sistemática de las rocas arcillosas entre sí. Es verdad que algunos investigadores han hecho tentativas aisladas, pero las hipótesis por ellos propuestas—bien en cuanto a la calificación del medio de génesis, bien en cuanto a su composición o condiciones climáticas—aparecen a veces contradictorias, sobre todo en lo referente a su génesis. El problema de las rocas arcillosas no está aún resuelto y da lugar a un estudio sistemático de las mismas con objeto de ir acumulando datos geológicos sobre el medio de génesis y petrográficos sobre su constitución.

LAS ROCAS SEDIMENTARIAS ARCILLOSAS

A) DEFINICIÓN

Las rocas sedimentarias se clasifican actualmente según el grupo de minerales que constituyen su mayor parte; así, tenemos rocas silíceas, carbonatadas, salinas o fosfatadas. Según este concepto, las rocas arcillosas serán aquellas en las que domine una fracción formada por uno o varios minerales arcillosos. Ahora bien, entre las rocas arcillosas hay varias categorías: unas son de formaciones residuales o de alteración, como las arcillas de descalcificación y los caolines; otras son propiamente sedimentarias, esto es, que han sido sedimentadas en el agua, a las cuales nos referimos en este trabajo. Generalmente, esta fracción arcilla le comunica las propiedades comunes que se le atribuyen a aquélla como es la plasticidad. Según las teorías más modernas, la fracción arcilla consiste esencialmente en distintos minerales arcillosos cristalinos que influyen marcadamente en sus propiedades, los llamados «minerales de la arcilla», de características mineralógicas definidas (21 y 26). Su clase y la proporción

en que se presentan determinan fundamentalmente las propiedades de la fracción arcilla (27).

Aunque una roca contenga menos del 50 por 100 de minerales arcillosos puede considerársele en general como roca arcillosa, siempre que manifieste de una manera clara las propiedades típicas de la arcilla. Cuando se trate de mezcla de arcilla y caliza, los límites que se pueden fijar son arbitrarios, para poder hablar de una caliza arcillosa o bien de una arcilla caliza. Podríamos distinguir:

1.º *Roca típicamente arcillosa*, la cual estaría formada en su mayor parte por uno o varios minerales arcillosos; sin embargo, como a un material de este tipo se le ha dado frecuentemente el nombre de arcilla, y se utiliza para designar, por ejemplo, la arcilla extraída de suelos, etc., algunos autores han propuesto el nombre de «argilita» para designar aquellas rocas en las que, en ausencia de carbonatos, predomina preponderantemente la arcilla. El vocabulario inglés utiliza frecuentemente el término «shales» para designar estas argilitas débilmente pizarrosas, que no son pizarras porque forman pasta con el agua, pero que se presentan en láminas o plaquetas paralelas al sentido de la estratificación. De aquí pasa al término «slates», equivalente a las pizarras. La mayoría de las rocas sedimentarias estudiadas por nosotros pertenecen a este último tipo.

2.º *Rocas arcillosas y rocas calcáreas*.—Existen varios grados intermedios entre las rocas arcillosas citadas anteriormente y las rocas calizas. Cuando una roca es tan débilmente calcárea que la efervescencia con ácidos es poco visible, se la puede considerar como una argilita calcárea, y cuando hay una franca efervescencia, entonces se la llama marga, designando como tales a aquellas rocas arcilloso-calcáreas que no tienen la solidez de las calizas consolidadas. Por el contrario, se habla de calizas arcillosas cuando una roca bien consolidada y con aspecto de caliza contiene una fase arcillosa considerable, que puede oscilar entre un 20 y un 40 por 100.

3.º *Rocas arcillosas y rocas silíceas*.—Existen todos los términos medios entre la roca arcillosa típica y la arena o gres, pudiéndose hablar de argilita arenosa, arena arcillosa, gres arcillosa; etc. Además de las tres grandes categorías citadas se podrían citar otros muchos tipos de rocas sedimentarias con una fase arcillosa importante, como son las margas salinas, margas micáceas, etc.

En la siguiente tabla resumimos los principales tipos de rocas arcillosas.

TABLEA NÚM. I
Principales rocas arcillosas

TIPOS			
	Tex. homogénea	Tex. en escama	Tex. pizarrosa
Rocas típicas arcillosas.....	argilita	«shales»	pizarra arcillosa
Rocas arcilloso-calcáreas.....	argilita calcárea caliza arcillosa	«shales margosas»	marga pizarrosa
Rocas arcilloso-silíceas.....	marga arenosa argilita arenosa gres arcillosa	«shales» arenosas	

B) MEDIOS DE GÉNESIS Y CONDICIONES DE SEDIMENTACIÓN

Uno de los fines perseguidos en este trabajo es encontrar una relación entre las rocas arcillosas y el medio en que han nacido. Los principales medios de sedimentación son el marino, lagunar y lacustre, a los cuales podría añadirse algún otro, como el fluvial, deltaico, etc.

Es preciso distinguir entre el «medio» y las «condiciones» de génesis o sedimentación. En efecto: cuando decimos que el medio de génesis es el mar, el dato es ya muy importante por sí solo, pero puede precisarse aún más si añadimos las condiciones de sedimentación, las cuales son variadas y con frecuencia desconocidas en gran parte cuando se trata de un sedimento fósil. Por tanto, no es posible entrever una explicación sobre la génesis de las rocas sin aproximarse a las condiciones de sedimentación; éstas son las que determinan los innumerables aspectos de los sedimentos nacidos en un mismo medio, como son los calcáreos, margosos, detríticos, etc., y a partir de los distintos sedimentos encontrados se trata de reconstruir aquellas condiciones o caracteres típicos del medio, como son la profundidad del agua, su agitación, la dirección de las corrientes, su distancia a las costas, etc. Sin embargo, esta reconstrucción no es fácil. Así, hace algún tiempo los sedimentos arcillosos eran considerados como depósitos profundos; sin embargo, muchos de ellos, y en particular las margas azules liásicas de Lorraine, muestran una proporción en organismos bentónicos que demuestran que se trata de sedimentos depositados a pocos decámetros de la superficie. Por otra parte, se ha podido demostrar—utilizando un criterio paleontológico—que los se-

dimentos arcillosos nacidos de limo o lodo pueden ser poco profundos aun cuando contengan solamente restos de animales pelágicos, como es el caso de algunos esquitos con graptolites y de ciertos niveles de margas negras de Bassin de París, que sólo contiene ammonites piritosos. De aquí se deduce las dificultades que se presentan cuando, conociendo el medio de génesis de un sedimento, se trata de llegar a las condiciones de sedimentación.

Los geólogos opinan cada vez más, que las facies litológicas además de estar en dependencia con los caracteres propios de las fuentes de sedimentación, dependen tanto, si no más, del aluvionamiento, es decir, de un fenómeno complicado donde el relieve del continente y la circulación del agua en su superficie son dos factores importantes. Los trabajos de Sonder (49) son extremadamente sugestivos a este respecto. Este autor ha establecido una tabla donde intervienen para determinar la naturaleza de los sedimentos, el relieve del continente, el movimiento del agua, etc. En esta dirección de investigación—en la que tiene gran importancia la sedimentación de mares epicontinentales de aluvionamiento—es donde se puede interpretar una de las principales conclusiones de Goldschmidt (16), después de sus trabajos geoquímicos. Este autor hace fijar que a lo largo de un ciclo sedimentario, los fenómenos son tales que se aproximan a un gigantesco análisis químico semicuantitativo. El ciclo sedimentario completo un poco ideal, sería el siguiente:

- 1) Residuos insolubles, tales como arena, gredas y minerales resistentes (cuarzo y circón).
- 2) Hidrolizados, tales como arcillas y «shales», con óxidos hidratados e hidrosilicatos de aluminio.
- 3) Oxidados (minerales de hierro sedimentarios), óxidos e hidróxidos de hierro trivalente.
- 4) Reductores, como el carbono, esquistos bituminosos y sulfuros sedimentarios.
- 5) Carbonatos.
- 6) Residuos de evaporación (cloruros, sulfatos, boratos de alcalinos y alcalino-térreos).

El número de series sedimentarias que reproducen un tal esquema aun sin tener en cuenta más que dos o tres etapas es considerable.

La regularidad de tales sucesiones pone en evidencia que es la naturaleza de los materiales enviados al mar la que determina en una buena parte la sedimentación en aquél. Después del período de sur-

gimiento de la cadena, domina la sedimentación detrítica, la erosión se hace menos intensa, y solamente pueden llegar al mar los restos que engendrarán en aquél después de cambios químicos los depósitos arcillosos. Este es el momento donde en el esquema de Goldschmidt aparecen los minerales de hierro sedimentario.

Para poder llegar al conocimiento de las leyes de la sedimentación si existen, es preciso, pues, recoger las muestras en capas sedimentarias, donde se pueda, al menos parcialmente, reconstruir las condiciones de génesis.

El medio de génesis de nuestras rocas silúricas es el marino, en el cual las condiciones de sedimentación están bien definidas. Esto es indispensable cuando se quiere llegar a establecer coincidencias entre las condiciones de formación y la constitución de las rocas. Así, pues, describimos a continuación algunos caracteres del medio de sedimentación marino.

Lo más característico del *medio marino* es su constancia; sin embargo, los depósitos marinos son distintos, lo que prueba que las condiciones de sedimentación son diferentes. Medidas precisas hechas sobre limos actuales (41) han demostrado condiciones orgánicas y físico-químicas originales, y en particular un pH muy bajo.

El estudio del medio marino desde el punto de vista de la sedimentación necesaria, pues, por una parte el estudio del mar, y el estudio del limo del medio interior por otra.

De cualquier forma, las principales variables que pueden caracterizar las condiciones de sedimentación en los diversos medios marinos son las siguientes:

1.º El pH. Se llama reserva alcalina del agua de mar el exceso de radicales básicos sobre los ácidos fuertes. Esta reserva alcalina está en equilibrio con radicales de ácidos débiles, que son principalmente iones $\text{CO}_3\text{H}'$, CO_3'' , $\text{BO}_3\text{H}'$. El conjunto comunica al mar una reacción básica. El pH del mar está comprendido entre 7,8 ó 7,9 y 8,3 u 8,4.

El pH puede variar bajo la influencia de diversos factores. Si aumenta la presión, varía el equilibrio entre el gas carbónico y los carbonatos. El CO_2 total aumenta, la reserva alcalina también, los bicarbonatos también; el CO_2 libre disminuye. En total se realiza una disminución sensible del pH (20).

El pH varía a lo largo de litoral en función de la naturaleza del fondo: 8,3 sobre fondo rocoso, 7,4 sobre rocas cubiertas de algas, y 7,1 sobre el limo. Este último dato es de considerable interés: esto

demuestra que el pH de los limos donde las acciones reductoras son tan importantes, acusa un descenso notable.

2.º La presencia de carbonato de cal. Los geólogos admiten que la sedimentación calcárea es más abundante en las orillas y a pequeñas profundidades que lejos de la costa y a grandes profundidades. De todos modos, la profundidad es importante para la génesis de las rocas calcáreas formadas por organismos que viven sobre el fondo.

Por lo que se refiere a reacciones físico-químicas, ha sido precisada la zona de pH necesaria para la precipitación de Carbonato cálcico (34): se necesita un pH muy alcalino y una agitación muy sensible del agua. Es interesante también señalar que en las series marinas estudiadas hasta ahora se ha encontrado que cuanto más pirita y sulfuros tiene una marga, menos calcárea es. Existe también una cierta incompatibilidad entre el medio reductor de los limos y la progresión de los carbonatos.

3. La presencia de sulfuros. En los sedimentos y en particular en las arcillas existen tres sulfuros principales (51). Uno es un coloide hidrofilo negro llamado hidrotroilita (monosulfuro hidratado: $SFe \cdot nH_2O$). Contribuye con la materia orgánica a dar a los sedimentos un color oscuro. Es probable que de él provenga la formación de la pirita y de la marcasita, que son dos variedades de sulfuros de la misma composición (FeS_2). Se admite que la hidrotroilita se forma a lo largo de la sedimentación, y que la neoformación de los otros sulfuros, también se hace entonces, pero que puede progresar a lo largo de la diagénesis. Se ha demostrado que los fenómenos bacterianos anaerobios son el origen de estas neoformaciones con la aparición de SH_2 en la cadena de reacciones como lo revela el olor de los barro.

Las rocas sedimentarias que contienen sulfuros, en particular la pirita, nacen en medio reductor. La circulación del agua es nula o al menos limitada sobre el fondo. Esto no puede impedir que la vida se desarrolle en la superficie y los residuos orgánicos puedan ir a depositarse al fondo. Tales condiciones reductoras sobre el fondo se pueden realizar en ciertas lagunas cerradas, en los bajos fondos que no son barridos por las corrientes y de una manera general y mucho más frecuente sobre la capa superficial de los limos donde el medio es reductor (14).

Esto demuestra que si la presencia de carbonatos abundantes impone un pH francamente básico, la presencia de sulfuros abundantes hace bajar el pH y favorece, por consiguiente, la eliminación de car-

bonatos del sedimento. Se ve aquí la rivalidad entre dos factores aparentemente independientes.

C) CONSTITUCIÓN Y GÉNESIS

Hacemos a continuación un breve resumen de las investigaciones realizadas hasta hoy sobre la constitución y génesis de las rocas arcillosas sedimentarias. Mostramos de esta manera las principales etapas que se han seguido en la génesis de estas rocas desde un punto de vista geológico, si bien esta historia está íntimamente ligada a la de todas aquellas investigaciones realizadas sobre arcillas, como son las de los edafólogos estudiando la génesis de las arcillas de los suelos, las de los metalogenistas que estudian la caolinización y sericitización hidrotermal y las de los químicos mineralogistas que estudian las síntesis de los minerales arcillosos en el laboratorio.

En el período anterior a 1914 se demostró ya de una manera neta que la caolinita no era el constituyente común característico de todas las rocas—como antes se creía—que poseen propiedades arcillosas. De una manera general se llega a la conclusión de que los álcalis siempre están presentes en estas rocas, aun en las caoliníticas, los cuales se atribuyen a la presencia de mica moscovita, siendo preciso el uso de técnicas microscópicas para hacer cesar esta tradición.

En 1925 presenta Thiebaut un trabajo (50) cuyas conclusiones más salientes son las que siguen:

1.^a Los sedimentos marinos contienen un alumino-silicato de hierro, magnesio y potasio, vecino de la bravasita.

2.^a La mayor parte de estos sedimentos no contienen arcilla (hoy diríamos caolinita).

3.^a Las arcillas refractarias no son depósitos marinos.

4.^a La bravasita, como la glauconia, se ha formado por la acción del agua del mar sobre los depósitos terrígenos.

Se ha dado aquí un paso importante al relacionar las rocas arcillosas con su origen, y empieza a dibujarse una especie de dístico en que la sedimentación marina, por una parte, produce minerales bravasíticos, mientras que las arcillas caoliníticas refractarias se depositan en el agua dulce.

En 1934 Dreyfuss (12) propone dos nuevas categorías de rocas sedimentarias; unas formadas en agua dulce, en que los medios de sedimentación tienen reacción ácida, y otras en agua de mar con reacción básica. Las primeras estarían compuestas esencialmente por

una «arcilla» donde la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sería inferior a tres y pertenecen al grupo de la caolinita; las segundas contendrían más sílice y la razón podría llegar a valer nueve.

Se estableció también en esta época una hipótesis acerca del ciclo recorrido por los minerales arcillosos; al principio se formarían en medio ácido, serían caolíníticos en los medios de alteración y en los lagos de agua dulce; después, recogidos por la erosión, llegarían al mar, donde se transformarían, enriqueciéndose en sílice y cargándose de sales diversas. Lo mismo que los edafólogos se habían dado cuenta que en la génesis del suelo interviene la reacción del medio (37), se dieron cuenta los geólogos de que también interviene aquélla en la génesis de las rocas sedimentarias.

En el período de 1935-46, debido a la utilización de métodos modernos (rayos X, etc.), se ha llegado a un conocimiento más completo de los minerales arcillosos de las rocas. En esta época, varias escuelas (alemana, americana y francesa) llegan casi al mismo tiempo a caracterizar mineralógicamente un constituyente muy frecuente en las rocas sedimentarias: «minerales con estructura del tipo mica». Bajo el nombre de sericita mineral, «glimerton», bravasita, ilita y aun la misma atapulgita, en el sentido amplio que se le daba en esta época, aparece este nuevo mineral en multitud de rocas arcillosas sedimentarias. Respecto al origen de estas diferentes rocas son raras las generalizaciones. Bentonitas (rocas montmorilloníticas) suelen reconocerse como resultado de la alteración en medio hidromagnesiano de lavas vítreas. Al mismo tiempo se definen las filitas micáceas llamadas atapulgitas (30), demostrando que estos minerales sólo podrían formarse en medio salino. Esta familia de las filitas micáceas está formada, según Millot (41), por las atapulgitas, bravasitas, sepiolitas y glauconias.

En un trabajo presentado por Lapparent al II Congreso Mundial de petróleos, se resume la génesis de las rocas arcillosas en esta forma:

Los depósitos caolíníticos se acumulan en la región de clima tropical, donde las vegetaciones potentes favorecen la formación de caolinita. Por el contrario, los depósitos caracterizados por un mineral arcilloso micáceo, serían salinos o lagunares, pero en todo caso ricos en sales cálcicas o magnésicas (31). La montmorillonita necesitaría un material de origen volcánico y medio hidromagnesiano.

En 1947 (18) Grim, resumiendo el trabajo de veinte años, dice que la ilita es el mineral que domina en un gran número de sedi-

mentos marinos actuales y quizá el constituyente de la mayoría de las «shales» marinas fósiles. Urbain (52) demuestra con razonamientos termodinámicos que los sedimentos arcillosos pueden ser autógenos, es decir, haberse desarrollado en el medio de sedimentación; la regla de las fases permite que el sistema se incline de preferencia hacia una neoformación determinada; así, los sedimentos nacidos en medio carbonatado optan voluntariamente por la formación arcilloso magnesiana o calcio-magnesiana.

Ross (47) señala el papel predominante que juegan las bases en la génesis de los minerales. En los medios ácidos y de fuerte lavado, las bases son arrastradas y la caolinita puede nacer. Todos los minerales arcillosos que vayan a parar al mar se cargarán en potasio, lo que explica la frecuencia de la illita en los sedimentos marinos. Se ve aquí cómo la consideración climática y la reacción del medio ceden el paso como causa principal a la composición química del mismo.

Riviere (44) hace un ensayo de clasificación de arcillas desde un punto de vista genético: la alteración de las rocas granudas ácidas bajo la influencia de aguas ácidas conduce esencialmente a la formación de rocas caolínicas. La alteración de rocas vítreas produce montmorillonita y la alteración de la mayor parte de las rocas en las condiciones ordinarias de pH conduce a illitas y bravasitas.

La cuestión de la génesis de las rocas arcillosas no está, pues, resuelta: un mismo mineral aparece a veces caracterizado por dos autores en medios diferentes, lo que da lugar a la continuación de su estudio sistemático.

ESTUDIO SISTEMÁTICO DE LAS PIZARRAS

Las muestras estudiadas por nosotros han sido tomadas en diferentes zonas silíceas españolas, cuyos puntos de procedencia aparecen señalados en el mapa de la fig. 1.^a Se han estudiado en total 30 muestras; las 18 primeras fueron ya descritas en el trabajo anterior (2), por lo que a continuación reseñamos nada más las restantes, indicando el lugar de origen juntamente con su descripción.

Muestra XIX. Viella.—Muestra tomada en la carretera de Viella a Francia, 100 metros antes de la casilla de carabineros. Color gris con algunas manchas rojizas, estructura compacta, muy dura.

Muestra XX. Vilamós I.—Roca caliza tomada junto a otras pi-

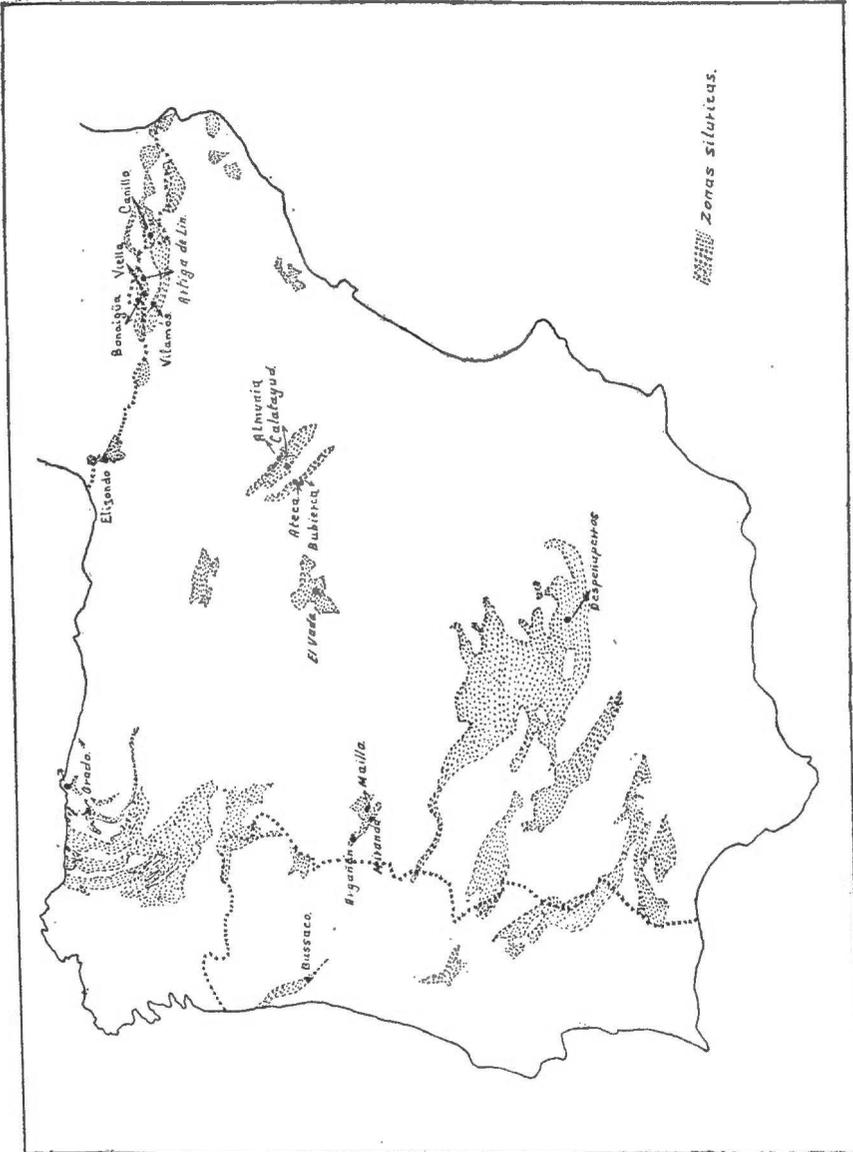


FIG. 1.

zarras silúricas en Vilamós (Lérida), frente al monte Aneto (macizo de la Maladeta).

Muestra XXI. Vilamós II.—Pizarra silúrica con parte caliza, tomada en Vilamós junto a la caliza anterior. Color gris, algunas manchas de hierro, muy dura.

Muestra XXII. Vilamós III.—Pizarra silúrica, tomada en el mismo punto que las anteriores. Color gris oscuro, estructura hojosa, exfoliable.

Muestra XXIII. Bonaigua.—Grava de pizarra silúrica, como manto en descomposición, tomado en el alto del puerto de la Bonaigua (Lérida), en la izquierda de la carretera hacia Viella, a 100 metros de la casa del puerto. Color gris oscuro, fácilmente exfoliable, blanda.

Muestra XXIV. Artigas de Lin I.—Gravilla de arrastre de pizarra silúrica, tomada en Artigas de Lin, distrito forestal de Lérida (Valle de Arán), en el final de la carretera de la explotación de madera. Color veige.

Muestra XXV. Artigas de Lin II. Grava de pizarra tomada en el mismo punto que la anterior, a 17 cm. de profundidad. Color veige, estructura compacta, dura.

Muestra XXVI. Artigas de Lin III.—Grava de pizarra análoga a las anteriores, tomada a 40 cm. de profundidad.

Muestra XXVII. Artigas de Lin IV.—Grava de pizarra, tomada en el mismo punto que las anteriores a 100 cm. de profundidad. Análoga a la anterior.

Muestra XXVIII. Santa María de Nieva.—Pizarra-roca silúrica tomada en Santa María de Nieva (Segovia) a la salida del pueblo, en el arranque del camino hacia Nava de la Asunción. Color grisáceo, estructura laminar y algo exfoliable.

Muestra XXIX. El Cuerno I.—Pizarra tomada en la carretera de Grado (Asturias) a Cornellana, Km. 246. Se encuentra en trozos pequeños y mezclados con gravilla. Erosionada. Color gris, con manchas rojizas. Estructura laminar, exfoliable.

Muestra XXX. El Cuerno II.—Pizarra tomada en el mismo punto que la anterior, sin erosionar. Color ocre con manchas rojizas, estructura laminar exfoliable.

A continuación damos a conocer los resultados obtenidos con las distintas técnicas empleadas.

A) ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico ha sido realizado por el método de Jacob (23). Los resultados se encuentran reunidos en la Tabla 2. En todas ellas se cumple lo observado ya en las muestras anteriormente estudiadas: en la casi totalidad de las muestras (con excepción de las rocas calizas) la cantidad de MgO es superior a la de CaO. Este predominio del magnesio sobre el calcio y del potasio sobre el sodio (visto anteriormente) encuentra también su explicación en la constitución mineralógicas de las pizarras, encontrada por nosotros, como veremos más adelante al hacer la discusión de las consecuencias geoquímicas.

TABLA NÚM. 2.
Análisis químico de pizarras

M U E S T R A	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	SiO ₂	R ₂ O ₃
XIX. Viella-Francia.....	58,80	23,61	6,94	0,82	2,01	3,08	4,20	3,5
XX. Vilamós I	5,06	1,75	1,75	ind.	48,90	1,32	4,91	3,00
XXI. Vilamós II	36,12	6,88	0,67	1,85	31,38	1,27	8,92	8,41
XXII. Vilamós III	51,02	32,87	3,37	2,76	2,16	0,82	2,63	2,47
XXIII. Bonaigüa	59,58	21,30	6,48	0,67	0,36	2,72	4,75	3,98
XXIV. Artigas de Lin I..	53,98	21,20	7,01	1,39	0,82	1,70	4,34	3,59
XXV. Artigas de Lin II..	55,72	20,63	9,20	1,54	0,84	1,69	4,65	3,61
XXVI. Artigas de Lin III.	56,10	24,36	8,02	0,92	0,95	1,60	3,90	3,24
XXVII. Artigas de Lin IV.	54,74	20,38	7,10	1,08	0,43	1,08	4,56	3,73
XXVIII. Sta. M. ^a Nieva..	66,88	20,93	5,76	0,78	0,94	2,14	5,10	4,34
XXIX. El Cuerno I.....	46,32	24,89	14,49	1,27	0,70	0,63	3,12	2,31
XXX. El Cuerno II.....	45,78	32,95	7,47	1,63	0,62	0,98	2,36	2,06

B) CAPACIDAD TOTAL DE CAMBIO DE BASES Y CATIONES DE CAMBIO

Hemos determinado la capacidad de cambio siguiendo la técnica de Zöberlein (54), triturando previamente las pizarras en un molino de bolas y pasándolas después por un tamiz de 2.500 mallas. Las muestras fueron tratadas, además, por ácido acético N/2, con lo cual se eliminan las sales solubles y el carbonato cálcico que pudieran llevar. Los resultados obtenidos se encuentran reunidos en la primera columna de la Tabla 3. El valor que dicha magnitud toma en las pizarras investigadas se podría explicar admitiendo que están constituidas preponderantemente por cuarzo y mica, lo cual por otra parte está de acuerdo con los resultados que proporciona la investi-

gación microscópica en corte delgado, las curvas de deshidratación, etcétera, que veremos más adelante.

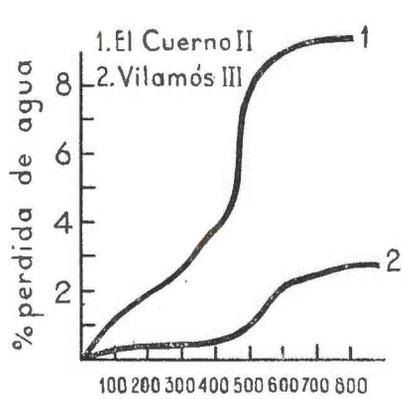
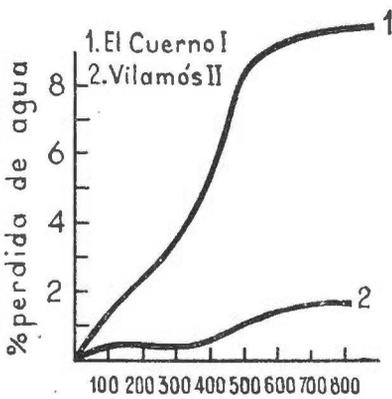
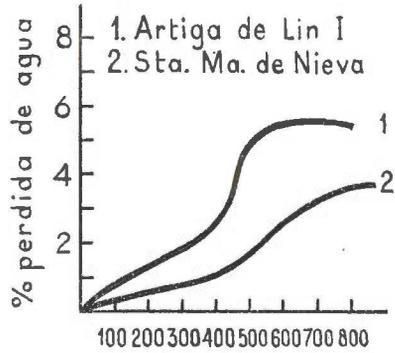
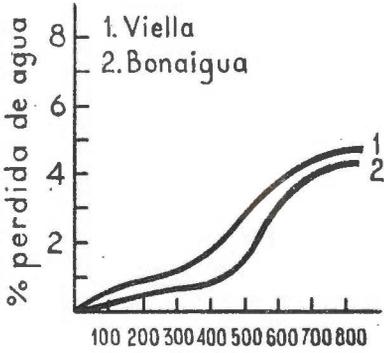
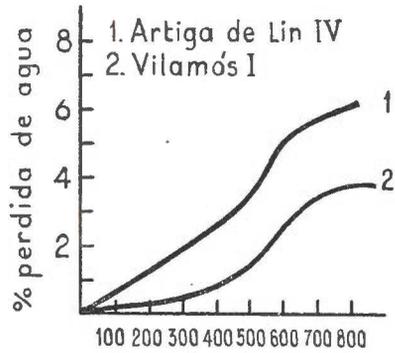
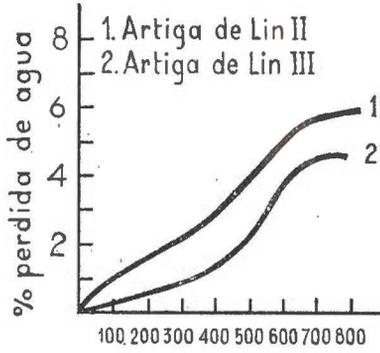
Para la determinación de los cationes de cambio hemos empleado el método de Williams (53). Los cationes determinados por nosotros han sido Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ , y los valores obtenidos se encuentran en la Tabla 3, juntamente con los de la capacidad total. Si comparamos los valores que resultan para la suma de las bases de cambio determinadas por separado con los obtenidos para la capacidad total, se observa que en general aquellos son más elevados que estos; ello es debido probablemente a que el ácido acético empleado en la extracción disuelve parcialmente—como demostró Williams—las sales solubles que pudieran llevar las muestras, con lo cual el valor de cada catión de cambio resulta aumentado por el correspondiente al de la sal solubilizada. En cambio, el valor obtenido para la capacidad total corresponde únicamente a las bases cambiables, ya que como en la técnica seguida fueron tratadas las muestras con ácido acético, las sales solubles fueron eliminadas de antemano.

TABLA NÚM. 3
Capacidad total de cambio y cationes de cambio

MUESTRA	MILIEQV. POR 100 GM. MUESTRA				
	Capacidad total	Ca	Mg	K	Na
Viella-Francia	7,7	3,2	3,3	0,32	0,87
Vilamós III.....	3,5	2,5	1,5	1,3	0,60
Bonaigüa.....	5,7	5,2	2,2	0,6	0,48
Artigas de Lin I.....	6,5	5,4	3,4	1,0	0,67
Artigas de Lin II.....	8,3	3,3	4,7	0,9	0,77
Artigas de Lin III	5,4	3,3	2,4	0,7	0,54
Artigas de Lin IV.....	6,2	4,6	3,1	0,8	—
Sta. M. ^a Nieva.....	14,8	10,4	2,7	1,43	0,74
El Cuerno I.....	22,9	10,56	1,3	0,40	0,53
El Cuerno II.....	17,4	9,2	1,2	0,35	—

C) CURVAS DE DESHIDRATACIÓN

Hemos obtenido las curvas de deshidratación de todas las muestras por el método de calentamiento intermitente (1). Los datos experimentales se encuentran en la Tabla 4 y los gráficos correspondientes en las figs. 2 a 7. Debido a la analogía que presentan podríamos agruparlas así:



Figs. 2 A 7

Primer grupo.—Artigas de Lin II, Artigas de Lin III. Viella. La primera parte de la curva nos hace pensar en ausencia de óxidos hidratados de hierro y aluminio, al menos en cantidades considerables. Coincide, en cambio, con la curva de deshidratación que presenta el cuarzo, feldespato, etc. La pérdida de agua entre 4.000 y 5.000° hace pensar en minerales micáceos, que podrían llevar una pequeña parte de caolín, ya que la moscovita, por ejemplo, pierde entre estas temperaturas sólo 135 por 100. El salto entre 500-700° coincide bastante con el de la moscovita. De los valores obtenidos para la capacidad de cambio se deduce que no puede tratarse de micas puras, por lo cual podría pensarse en una mezcla de cuarzo o feldespato, mica y una pequeña parte de caolín.

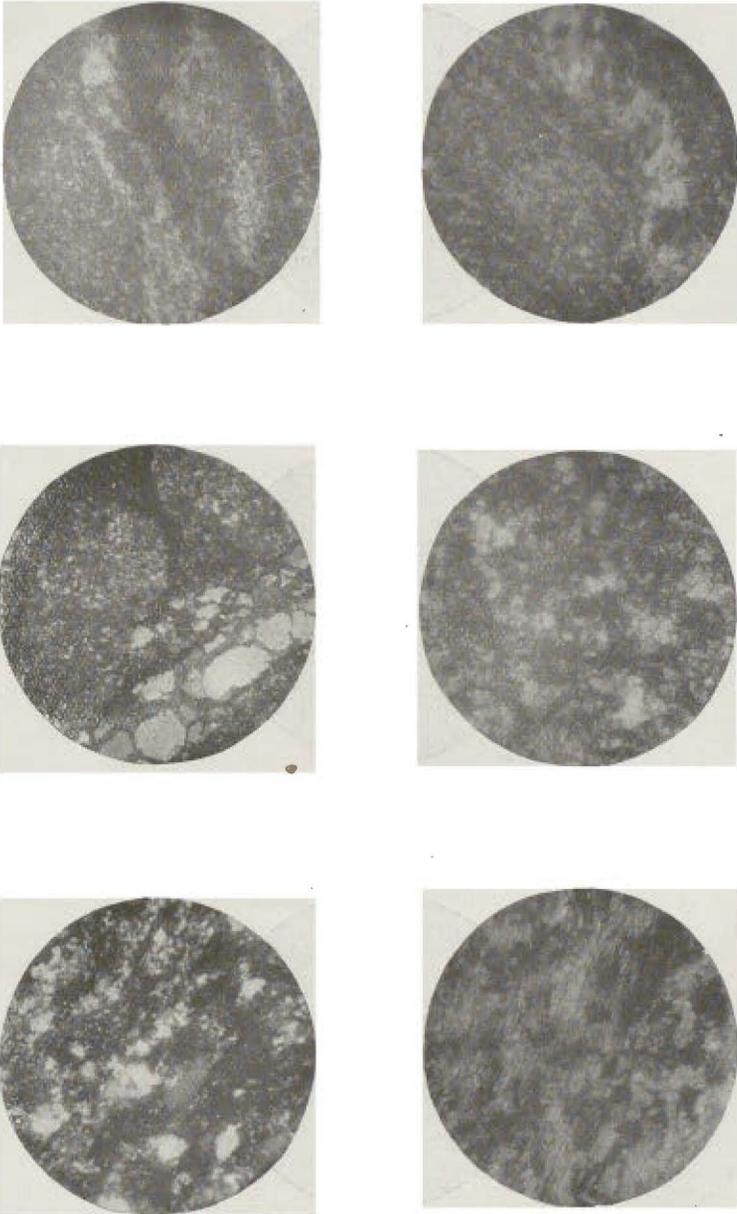
Segundo grupo.—Artigas de Lin I, Artigas de Lin IV. Estas muestras pueden interpretarse como las anteriores con la sola diferencia de un aumento en la proporción de caolín, debido a que la pérdida de agua entre 400-500° es algo mayor, lo que hace que en estas muestras sea también menor la capacidad de cambio.

TABLA NÚM 4

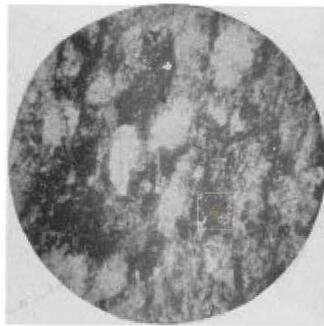
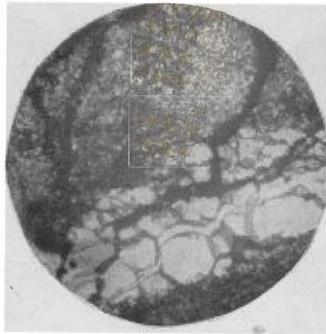
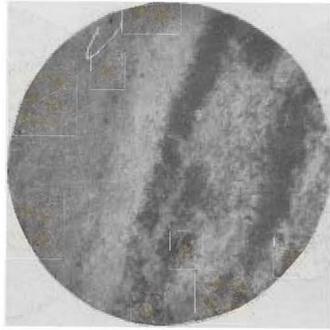
Por 100 pérdida de agua a diferentes temperaturas

MUESTRA	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°
Viella.....	0,42	0,48	0,97	1,23	2,55	3,40	4,11	4,40
Vilamós I.....	0,15	0,22	0,39	0,56	1,26	2,51	3,40	3,64
Vilamós II.....	0,20	0,34	0,34	0,39	0,89	1,34	1,41	1,46
Vilamós III.....	0,12	0,23	0,28	0,33	1,07	2,27	2,59	2,61
Artigas de Lin I.....	0,53	1,13	1,92	2,40	5,07	5,19	5,30	5,33
Artigas de Lin II.....	0,64	1,50	2,32	2,72	4,25	5,09	5,55	5,58
Artigas de Lin III.....	0,25	0,74	0,93	1,13	2,73	4,22	4,64	4,66
Artigas de Lin IV.....	0,68	1,27	2,11	2,45	3,63	5,66	6,02	6,04
Bonaigüa.....	0,2	0,3	0,5	0,6	1,2	3,0	3,8	3,9
Sta. M. ^a de Nieva.....	0,19	0,22	0,38	0,50	1,30	2,4	2,5	3,4
El Cuerno I.....	1,2	1,9	3,5	4,8	8,3	9,3	9,5	9,5
El Cuerno II.....	1,3	1,7	2,2	3,9	8,5	9,0	9,1	9,2

Tercer grupo.—Vilamós I, Vilamós II, Vilamós III. Santa María de Nieva. Se caracterizan estas curvas por la pequeña pérdida de agua que presentan durante todo su curso. Hasta 400° las pérdidas máximas son de 0,5 por 100, las cuales coinciden con las que tienen el cuarzo o feldespato; de 400 a 500° pierden muy poca agua de 0,5 a 0,8 por 100, perdiendo hasta 800° agua en un total de 3,5 por 100 la que más. Según esto podríamos interpretar estas muestras como



Figs. 8 a 13. — Microfotografías. Luz polarizada.



Figs. 14 A 16 — Microfotografías Luz natural.

mezclas de cuarzo o feldespato con una pequeñísima cantidad de mica o caolín, que originarían las pérdidas de agua a partir de los 400°. Las muestras de menor pérdida de agua, Vilamós II y Vilamós III deben de ser las que tienen mayor proporción de feldespato, lo que coincide con los valores pequeños de su capacidad de cambio.

Cuarto grupo.—El Cuerno I y El Cuerno II. Son estas dos muestras las que mayores pérdidas de agua presentan. Hasta 400° pierden de 4 a 5 por 100, lo cual puede ser debido a la presencia de geles de acuerdo con el valor bajo que para la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ da el análisis químico. De 400 a 500° presentan un salto mayor que todas las demás muestras, alrededor del 4 por 100. A partir de los 500° las pérdidas de agua son pequeñas. La mayor pérdida de agua, especialmente entre los 400 y 500°, hay que interpretarla en el sentido de que en estas muestras es ya mucho mayor que en las anteriores la proporción de caolín.

D) MICROSCOPIO PETROGRÁFICO

El microscopio polarizante puede ser utilizado en dos formas distintas en lo que concierne a las rocas arcillosas; como instrumento mineralogista puede dedicarse al estudio del mineral arcilloso en sí mismo, bien en las rocas o bien aislado; como instrumento petrográfico permite estudiar la roca en sí. Al utilizarlo desde el punto de vista petrográfico, necesita de técnicas especiales para el tallado de láminas delgadas, y con él pueden ser hechas las observaciones siguientes:

a) Estructura de la roca. Las variaciones de la estructura pueden ser infinitas, pero generalmente puede distinguirse entre:

Textura normal a la estratificación; y

Textura paralela a la estratificación.

La primera corresponde a aquellas que son visibles en una capa delgada, tallada perpendicularmente a la estratificación, cuando se puede apreciar aquella en la capa o en la misma muestra. Esta textura puede ser homogénea, orientada, cíclica, etc.

La textura paralela a la estratificación se define ella misma. Es evidente que si el plano de sedimentación no se manifiesta en nada, la textura puede aplicarse a cualquier plano de sección. Desde otro punto de vista se pueden presentar aquí dos casos:

O bien la fase arcillosa está enmascarada por algún otro constitu-

yente —en particular por los carbonatos— y la observación se reduce a la de una roca sedimentaria ordinaria, o bien la fase arcillosa mayoritaria, es visible. En este último caso, cuando, como sucede frecuentemente, la fase arcillosa es visible en el bisel de la placa delgada, se puede hablar de textura: cristalina, criptocristalina, sedosa e invisible o amorfa, cuando el fondo arcilloso parece isótropo, etc.

b) Observación de la fase carbonatada.

c) Observación de la fase arenosa o detrítica (forma de los granos, evaluación aproximada de la cantidad de detríticos, etc.).

d) Observación de minerales accesorios y accidentales (sal gema, yeso, glauconia, micas, piritita, limonita, magnetita, materias bituminosas, etc.)

Pero el microscopio polarizante no suele ser de grandes recursos para la determinación de minerales arcillosos en láminas delgadas de rocas, sobre todo cuando son impuras como es el caso más general.

Cuando se quiere hacer un examen desde un punto de vista mineralógico, tampoco se obtienen resultados mucho más satisfactorios. Aparte de algunos tipos bien cristalizados, sobre los cuales pueden hacer los mineralogistas buenas determinaciones, (dicrita y nacrita, por ejemplo, que son dos modalidades de caolinita), el examen al microscopio de la mayoría de las arcillas se muestra inseguro.

Nosotros hemos utilizado el microscopio haciendo un estudio petrográfico de las pizarras en corte delgado. En la fig. 8 a 16 pueden verse microfotografías de algunas de las muestras.

Todas las muestras presentan los caracteres propios de las pizarras arcillosas, encontrándose en ellas granos de cuarzo muy finos, algunos de carbón y óxidos de hierro, más la sustancia arcillosa con escamas de mica en cantidad variable de unas muestras a otras.

E) RAYOS X

Para tener un conocimiento más completo de los minerales existentes en las pizarras se han obtenido en algunas de ellas diagramas de rayos X. En el reconocimiento de los minerales de la arcilla hay que aplicar como es sabido el método del polvo cristalino de Debye y Scherrer (10) y Hull (22). Ahora bien, el método ordinario es de sensibilidad limitada, pues en el espectro no suelen aparecer las rayas características de aquellos constituyentes cuya proporción sea inferior al 5 por 100 del total, pero este límite ha podido ser rebajado mediante el método de los agregados orientados empleados por primera vez

por Clark, Grim y Bradley (17). En este método no se obtienen círculos como en un espectro de tubos, sino pequeños paréntesis sobre el centro del espectro. La intensidad de las reflexiones, en lugar de estar repartida sobre el círculo, está localizada sobre estos paréntesis que, de otra parte, son mas netos.

Sin embargo, este método no proporciona con todos los minerales arcillosos los paréntesis descritos anteriormente. El grupo de las paligorsquitas, atapulgitas, sepiolitas, proporciona anillos irregularmente intensos, pero los mismos cerrados, cuando la preparación de las láminas ha sido realizada bien sedimentada.

Esto ha sido puesto en evidencia por Bladley (7), el cual ha propuesto para estos minerales una estructura en cadena. Recientemente el microscopio electrónico ha permitido reconocer el aspecto fibroso de la atapulgita (13). Sin embargo, el aspecto fibroso de un mineral no está ligado en ningún modo a una estructura en cadena. El caso del crisotilo es uno de los más típicos. La atapulgita y la sepiolita reúnen la fibrosidad de sus facies y el desarrollo en cadena. Riviere (45) ha insistido sobre el interés que ofrecen los espectros de láminas para distinguir los minerales arcillosos fibrosos de aquellos que son filitosos. Antiguamente se confundían estos dos grupos de minerales porque la distancia entre los planos de mayor densidad reticular era para ambos muy cercana; era el caso de la illita y la atapulgita; la primera es filitosa, y se caracteriza por la distancia 10 Å. La segunda tiene una estructura fibrosa y una característica de 10,5 Å. Si estos dos minerales se encuentran mezclados, aparece una dificultad cierta, sobre todo en los suelos o minerales mal cristalizados apenas se reconocen. Michaud (40) ha propuesto el método de la lámina horizontal, en el cual se puede determinar en la illita un 5 por 100 de atapulgita; más difícil es la apreciación de una pequeña fracción de illita en la atapulgita.

Influencia del grado de hidratación sobre los datos de rayos X.— El contenido en agua de la muestra a estudiar influye de diversas formas:

a) El grado de hidratación en sí.

El grado de hidratación de la montmorillonita influye sobre su espaciado como demostraron Hofmann y colaboradores (24) en 1935. Nagelschmidt (42) ha medido la disminución progresiva de este espaciado en función de la pérdida de agua encontrando que aquél varía entre 10 y 20 Å.

b) Influencia de los cationes de cambio en la hidratación.

Se ha encontrado que sobre el espaciado de la montmorillonita influyen, tanto el contenido en agua como el catión de cambio que le satura; numerosos trabajos han sido escritos sobre este particular de los cuales uno de los más recientes (39) permite distinguir el agua de adsorción, del agua de hidratación, demostrando que la hidratación de la montmorillonita-Ca se hace en tres fases, formándose en la primera $\text{Ca} \cdot (\text{H}_2\text{O})_6$ mientras que en la hidratación de la montmorillonita-Na se hace de una manera continua difícil de estudiar.

c) Efecto del medio de secado.—Los trabajos de Aldrich, Jackson y Helmann (4) han demostrado la gran influencia que ejerce el medio de secado. Una montmorillonita-Ca secada en medio acuoso proporciona un espaciamiento de 10 \AA , secada en benceno, se caracterizan las montmorillonitas por un espaciamiento de 14 a 15 \AA . Por el contrario la ilita o mica hidratada permanece generalmente constante con una raya en 12 \AA .

El conjunto de estos trabajos ha dado lugar a la práctica común de saturación con Ca y subsiguiente desecado en benceno, ya que es frecuente que la hidratación posterior de la muestra ayude posteriormente a su identificación como ocurre con la montmorillonita.

Hay que señalar también las dificultades que se presentan al identificar la mica hidratada, expuestas ya por Albareda, Alexandre y García Vicente (3).

Influencia del tratamiento con glicerina.—Investigaciones realizadas paralelamente en Inglaterra (35) y América (8) han puesto en evidencia las asociaciones que tienen lugar entre los minerales arcillosos y los cuerpos orgánicos. En particular la glicerina da con la montmorillonita asociaciones interesantes para la determinación de minerales, dando diagramas de líneas mucho más netas que las obtenidas con la montmorillonita ordinaria.

Las ventajas de este método son numerosas:

1.^a Gran sensibilidad, MacEwan puede identificar un 1 por 100 de montmorillonita en una mezcla.

2.^a Insensibilidad al grado de hidratación.

3.^a Distinción inmediata de la montmorillonita de la vermiculita y clorita.

4.^a Fácil estudio de mezclas de montmorillonita-ilita.

Los diagramas obtenidos por nosotros han sido realizados a partir

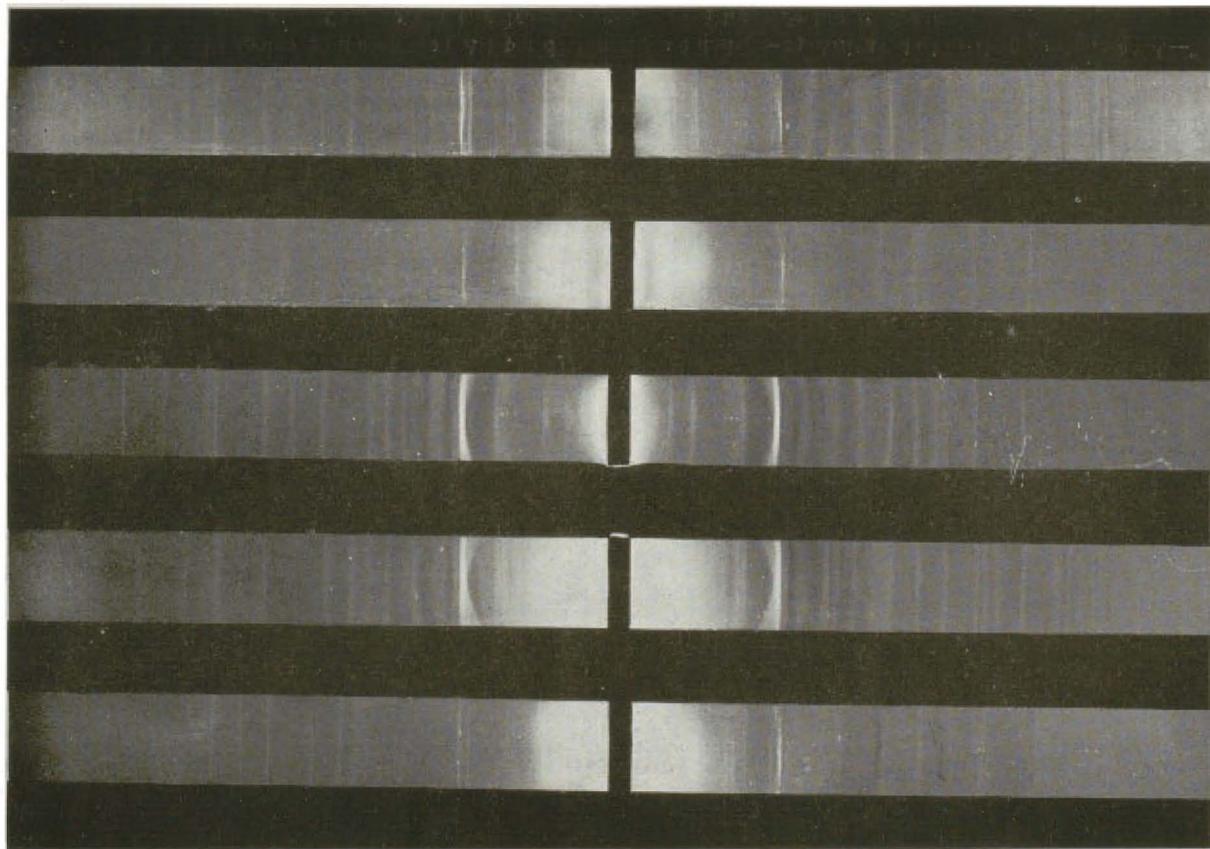
FIG. 17

FIG. 18

FIG. 19

FIG. 20

FIG. 21



FIGS. 17, Artigas de Lin II (con glicérol).—18 Bonaigua (calentada).—19 Bonaigua (polvo giratorio).—20 Arcilla de la pizarra de Bonaigua (calentada).—21 Bonaigua (seca).

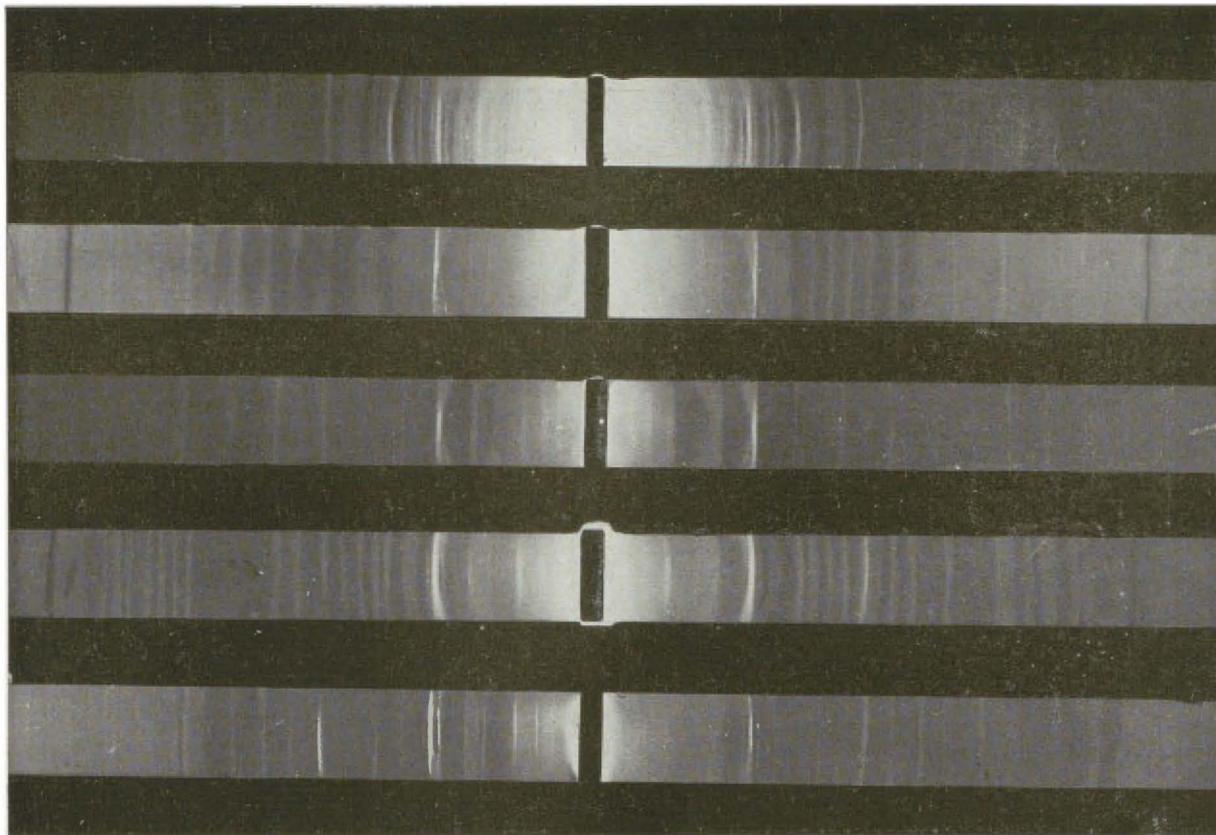
FIG. 22

FIG. 23

FIG. 24

FIG. 25

FIG. 26



Figs. 22, Vilamós III (polvo giratorio).—23 Artigas de Lin II (calentada).—24 Artigas de Lin II (polvo giratorio).—25 Artigas de Lin I (polvo giratorio).—26 Artigas de Lin II (seca).

de pequeños agregados obtenidos limando cuidadosamente las pizarras, que fué la única forma de poder obtener agregados. También se obtuvieron diagramas por el método del «polvo giratorio» para lo cual fueron pulverizadas las pizarras. En total, de cada muestra se hicieron 5 diagramas que reseñamos a continuación:

1) *Secos*. Diagramas obtenidos a partir de agregados sin preparación alguna especial.

2) *Calentados*. Estos diagramas fueron obtenidos a partir de los mismos agregados pero calentados previamente durante varias horas a 540°

3) *Con glicerol*. Diagramas obtenidos de los mismos agregados humedecidos con glicerina.

4) *Polvo giratorio seco*. Fueron obtenidos estos diagramas pulverizando las muestras y preparando con ellas los cilindros para el método del polvo giratorio sin ninguna preparación especial. Los cilindros se prepararon mezclando el polvo con goma arábiga y enrollando la pasta con ayuda de dos vidrios. Las cámaras empleadas eran de 9 cm. de diámetro, y la radiación de cobre.

5) *Polvo giratorio calentado*. Estos diagramas fueron obtenidos como los anteriores, pero después de calentar a 540°.

Estos espectrogramas han sido obtenidos en colaboración con el doctor García Vicente y algunos de ellos se encuentran en las figuras 17 a 26 con indicación del tratamiento empleado.

Aunque hasta ahora no hemos estudiado por este método nada más que algunas pizarras (las restantes serán objeto de un trabajo posterior), los resultados obtenidos en las muestras estudiadas y que exponemos a continuación, ya nos dicen que la constitución es bastante parecida en todas ellas.

Vilamós III. Moscovita. Menos de un 10 por 100 de clorita, Caolinita. Cuarzo en pequeña proporción.

Artigas de Lin I. Moscovita. Clorita. Cuarzo. Parece probable la existencia de una estructura de capas mezcladas de mica y clorita. No es posible asegurar la existencia de caolinita, pareciendo poco probable que exista.

Artigas de Lin II. Como la anterior. Tal vez algo de feldespato en las partículas más gruesas.

Bonaigua. Como la anterior. Más clorita y la estructura de capas mezcladas aparece con mayor regularidad en la ordenación.

ESTUDIO DE LA FASE ARCILLOSA EXTRAÍDA DE LAS PIZARRAS

La fase arcillosa ya fué definida anteriormente como la fracción verdaderamente arcillosa que se puede extraer de una roca sedimentaria. Esta fase constituye el objeto principal de este trabajo, ya que muchas de las determinaciones vistas anteriormente, aunque realizadas sobre el total del material, eran encaminadas a conocer los minerales arcillosos, como la adsorción selectiva de cationes, curvas de deshidratación, etc. Los métodos que permiten llegar al conocimiento de esta fase arcillosa se perfeccionan sin cesar, y nosotros hemos empleado, además del análisis químico, el análisis térmico diferencial.

EXTRACCIÓN DE LA FASE ARCILLOSA.

La primera operación para el estudio de la fase arcillosa es el obtener una fracción que esté compuesta lo mejor posible de solamente los minerales arcillosos contenidos en la roca. Para ello nosotros hemos realizado en algunas de las pizarras estudiadas la extracción de dicha fracción del siguiente modo:

1) Suspensión en medio defloculante. Trozos de pizarra (sin pulverizar) fueron puestos en suspensión en amoníaco al 10 por 100, con objeto de facilitar la dispersión de la fracción arcillosa. De todos los productos que suelen emplearse para esta operación (citrateo sódico (11), etc.) hemos elegido el amoníaco, porque este producto se marcha con facilidad después durante el secado y no constituye ningún obstáculo al realizar el análisis químico.

2) Dispersión. La suspensión realizada en medio defloculante facilita la dispersión. En efecto: los minerales arcillosos se encuentran con frecuencia en las arcillas—el microscopio electrónico lo ha confirmado—formando agregados; una fracción arcillosa será tanto más pura cuanto más fina sea; por lo tanto, se hace necesaria una dispersión de estos agregados por varias razones: por una parte, para aumentar la fracción fina, y por otra, porque estos agregados pueden retener en su seno partículas extrañas. El método habitual de dispersión es el de agitación mecánica, y éste ha sido utilizado por nosotros sometiendo las muestras en la suspensión de amoníaco, a la acción de un agitador mecánico durante varias horas con ritmo constante, de modo que el tiempo de agitación sea la única variable.

3) Fraccionamiento por sedimentación. La fracción dispersada por el procedimiento anterior se ha separado, y esta suspensión se la ha sometido al fraccionamiento por sedimentación, siguiendo la técnica internacional, dejando en reposo durante veinticuatro horas después de agitarse. Pasado este tiempo se sifona el líquido, contenido en una altura de 10 c. c. De esta forma se obtienen partículas cuyo tamaño es menor de $1,13 \mu$.

4) En el material así extraído existen cantidades variables de materia orgánica, habiéndose procedido a su destrucción por el método internacional, tratando la fracción arcillosa repetidas veces con agua oxigenada de 20 volúmenes y calentando a baño maría para evaporar a sequedad después de cada tratamiento, hasta la destrucción completa de la misma; esto se pone en evidencia por la fuerte disminución de la descomposición del agua oxigenada y por quedar incoloro el líquido que sobrenada terminado el desprendimiento de oxígeno.

5) Eliminación de carbonatos y de cationes floculantes y de cambio. La naturaleza de los cationes de cambio existentes en la arcilla es otra de las causas que influyen en sus propiedades. Por esto, para poder obtener resultados comparativos se han transformado las fracciones arcillosas en arcillas -H, o sea arcillas que tiene como único catión de cambio el ión H^+ . Para ello, la arcilla libre de materia orgánica se la trata con ácido acético N/2, centrifugando la suspensión durante diez minutos a 3.500 revoluciones; se decanta la parte clara que sobrenada, cuidando de evitar el arrastre de las partículas más finas, que son las que últimamente se depositan. Después de cuatro o cinco tratamientos se comprueba en el líquido sobrenadante la ausencia del ión Ca^{++} u otro convenientemente elegido y se repite el tratamiento hasta eliminarlo. Después se trata en la misma forma con agua destilada hasta eliminar el ácido acético en exceso, se pasa la arcilla con agua a una cápsula y se evapora a sequedad.

Con el material así preparado se ha realizado el análisis térmico diferencial. El análisis químico se ha realizado sin quitar la materia orgánica ni poner ácidas las muestras.

ANÁLISIS QUÍMICO.

En la Tabla 5 tenemos los resultados de los análisis químicos realizados sobre la fracción arcillosa extraída de algunas de las pizarras. Si comparamos estos valores con los dados en la Tabla número 2

TABLA NÚM. 5
Análisis químico de la fase arcillosa de pizarras

MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Pérdida por calcificación Por 100
	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Elizondo.....	42,46	31,33	13,74	1,75	0,06	1,67	1,79	2,30	0,27	8,14
Maillo.....	45,04	22,12	9,89	0,69	1,92	1,68	2,69	3,46	0,28	13,38
Otsondo.....	39,48	27,92	12,40	1,98	0,98	0,75	1,87	2,43	0,28	9,08
El Vado.....	44,42	30,54	9,22	0,74	1,52	1,09	2,07	2,47	0,19	8,46
Soldeu II.....	42,02	31,87	9,56	2,07	1,66	indc.	1,88	2,24	0,19	12,12
El Cuerno II.....	44,40	29,01	7,15	0,97	0,42	0,95	2,24	2,60	0,15	10,48
Despeñaperros I.....	41,88	26,40	11,27	0,63	0,22	0,79	2,11	2,69	0,27	13,34
Despeñaperros II.....	36,90	23,64	18,24	0,57	1,68	0,44	1,77	2,65	0,49	10,02
Calatayud.....	40,76	19,76	10,66	0,28	1,24	0,74	2,60	3,50	0,34	9,60
Almunia.....	37,26	15,94	10,81	0,85	7,54	1,86	2,77	3,97	0,43	15,46

para las pizarras (véase el trabajo anterior (2)), podemos observar que en el paso de la composición de la pizarra a la de la fracción arcillosa existe:

- 1) Una disminución de sílice.
- 2) Un aumento en general de Al_2O_3 .
- 3) Una disminución de CaO .
- 4) En cuanto al magnesio, en la mayoría de las muestras puede observarse una disminución.
- 5) En la cantidad de K_2O en general hay aumento.

Los valores que toma la razón SiO_2/R_2O_3 próximos a dos, concuerdan más bien con los minerales del grupo del caolín que con los del tipo mica, ya que en éstas la razón suele ser más alta; sin embargo, los valores encontrados para el contenido de K_2O son en general superiores a los que presenta la caolinita, por lo que hay que pensar en minerales micáceos, que son confirmados, como veremos más adelante, por las curvas que nos da el Análisis T. diferencial, y, por lo tanto, hay que atribuir el valor bajo de dichas razones a la presencia de oxhidrogenados de hierro y aluminio.

Queremos mostrar ahora la variación de la composición química de esta fase arcillosa y ver si esta variación corresponde a su medio de génesis, de acuerdo con los resultados encontrados por Millot (41) al estudiar grupos de rocas sedimentarias de distinto origen.

TABLA NÚM. 6
Por 100 de K_2O y MgO sobre la muestra calcinada

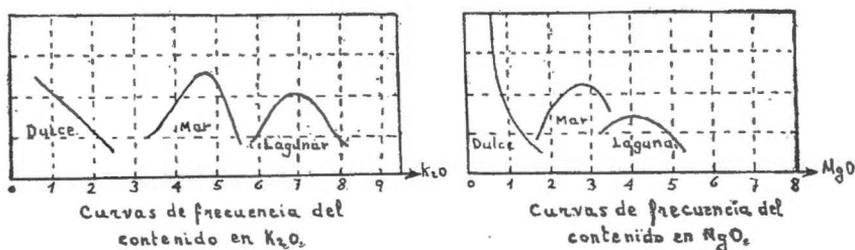
MUESTRA	K_2O Por 100	MgO Por 100	MUESTRA	K_2O Por 100	MgO Por 100
Elizondo.....	4,60	1,75	El Cuerno II.....	4,30	1,15
Maillo.....	1,26	2,03	Despeñaperros I. . .	3,69	0,95
Otsondo.....	4,83	0,86	Despeñaperros II.....	5,16	0,51
El Vado.....	5,93	1,19	Almunia.....	4,90	2,50

Para ello damos en la Tabla 6 los contenidos en K_2O y MgO , referidos a 100 gr. de silicato deshidratado (tomados los tantos por ciento sobre la muestra calcinada), con el fin de eliminar las variaciones del contenido en agua tan distintas de unas muestras a otras.

a) Variación del contenido en K_2O :

En el gráfico de la figura 27 tenemos las curvas de frecuencia, que nos dan el contenido en K_2O en la fase arcillosa de distintas rocas sedimentarias. En dicho gráfico aparecen perfectamente definidos tres grupos de rocas de distinto origen, cuya variación en la cantidad de K_2O ha de obedecer principalmente a la proporción de minerales micáceos, especialmente de illita.

El contenido en K_2O de nuestras pizarras oscila, como vimos en la Tabla 6, entre 3 y 5 por 100, y, por tanto, encuadra en esta curva de frecuencias dentro de las rocas de origen marino.



Figs. 27 y 28.

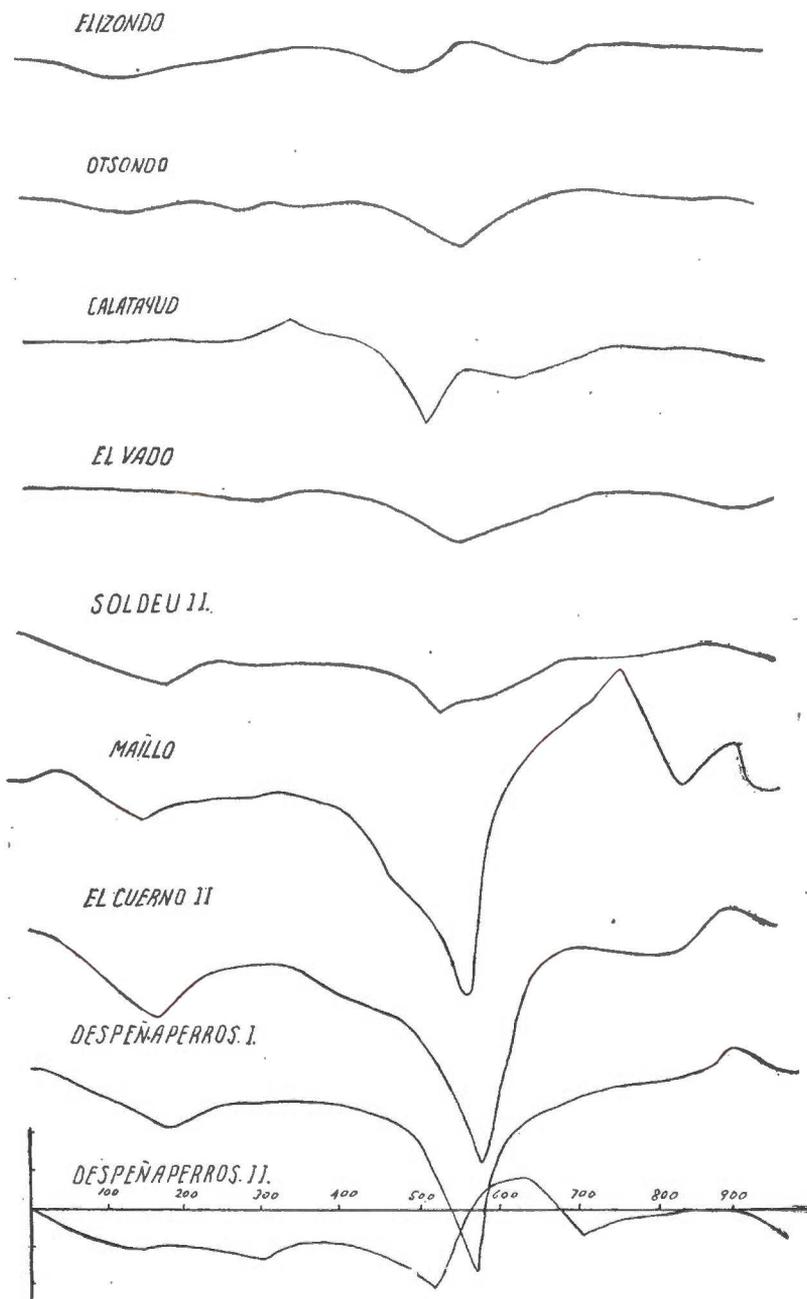
b) Variación del contenido en MgO :

En la curva de frecuencias del contenido en MgO (figura 28) puede verse que los resultados son menos netos que para el potasio; sin embargo, aún pueden definirse bien los tres grupos. La proporción de MgO en la fase arcillosa de nuestras pizarras oscila entre 1,1 y 2 por 100, un poco menos de lo que da el promedio para las rocas de origen marino, que es de 2,5 por 100; nuestras pizarras estarían situadas a la izquierda del grupo de origen marino.

La variación de la composición química de la fase arcillosa ha de ser el reflejo de las mezclas mineralógicas que contiene. La abundancia de caolinita hace bajar la proporción de K_2O y MgO . La preponderancia de minerales micáceos, por el contrario, los aumenta.

ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL.

Este método, que ha sido utilizado con éxito en el estudio de la fracción arcillosa de rocas sedimentarias, lo hemos aplicado nosotros a la fase arcillosa extraída de las pizarras siguiendo la técnica descrita ya detalladamente por Alexandre (5).



Figs. 29 a 37.—Curvas de A. Térmico Diferencial (Arcillas de pizarras).

Los resultados generales para la interpretación de la curva térmica obtenida mediante este método son los siguientes:

1) Si la sustancia a estudiar es inerte, la curva obtenida es horizontal.

2) Para una sustancia en la que existen transformaciones durante el curso de su calentamiento, la curva muestra en su trayectoria unos ganchos o picos por debajo de la base que corresponden a transformaciones endotérmicas y otros picos exotérmicos hacia arriba.

3) Las pérdidas de agua son endotérmicas.

Las curvas obtenidas por nosotros se encuentran en las figuras 29 a 37, y podríamos agruparlas en esta forma:

Las curvas obtenidas por nosotros se encuentran en las figuras 31 a 39, y podríamos agruparlas en esta forma:

1) Elizondo. Soldeu II. Las curvas correspondientes a estas muestras tienen unos efectos endotérmicos muy poco pronunciados, y dada la pequeña cantidad de MgO y grande de K₂O que nos da el análisis químico, hemos de pensar en la existencia de minerales del grupo de la mica, especialmente moscovita. No obstante, los efectos endotérmicos entre 100-200° y a 500°, aunque pequeños, han de atribuirse a una pequeña cantidad de ilita.

2) El Vado. Otsondo. Calatayud. Despeñaperros II. El efecto predominante que se observa en las curvas correspondientes a estas muestras es un efecto endotérmico entre los 500° y 600°, que ha de ser atribuido a la ilita y no al caolín, por no aparecer el efecto exotérmico a más de 900°, característico de dicho mineral. A partir de los datos que nos da el análisis químico, podría calcularse cerca de un 50 por 100 de ilita. El resto podría ser mica moscovita.

3) Despeñaperros I. Maillo. El Cuerno II. Además del efecto térmico entre 100-200°, presentan estas muestras otro, que se inicia antes de los 500°, pero desviado por otro más pronunciado hacia los 550°, más un pequeño efecto exotérmico sobre los 900°, aproximadamente. Se manifiestan, pues, los efectos térmicos de la ilita, pero el correspondiente a 500° está desviado a la derecha por aparecer el efecto de la caolinita a 550° o quizá más bien de haloisita. Por lo tanto, han de interpretarse estas curvas como una mezcla de caolinita más ilita. La de Maillo presenta además un efecto exotérmico sobre 700°, que puede ser atribuido a un fenómeno de oxidación de hierro; estos fenómenos de oxidación de hierro asociados a efectos exotérmicos, entre 700 y 900° (muy parecidos a los observados por nosotros), fueron puestos de manifiesto en estudios de siderita primeramente

por Kerr y Kulp (28), con la que obtuvieron las curvas representadas en las figuras 29 y 30 y más tarde por Frederickson (15), reconociendo todos ellos que los efectos exotérmicos son debidos a las oscilaciones de calor entre la descomposición del carbonato férrico y la oxidación subsiguiente del FeO a Fe_2O_3 . Nosotros no podemos pensar en la existencia de siderita, ya que de antemano fueron eliminados los carbonatos con ácido acético, ni tampoco en la presencia de sales ferrosas, puesto que las muestras fueron también tratadas previamente con agua oxigenada; pero sí podría pensarse en la existencia de algún hierro ferroso dentro de la red, que al ser destruida por el calor dejaría a aquél en libertad, oxidándose a continuación, cuyo fenómeno sería el responsable de la cúpula de oxidación observada por nosotros en las curvas.

El efecto exotérmico encontrado en la siderita no tiene una temperatura fija (la figura muestra una curva obtenida por Rowland con el pico a una temperatura más alta), debido según estos autores a que la oxidación no puede efectuarse hasta después de la pérdida del anhídrido carbónico, y, por lo tanto, depende del momento en el cual el CO_2 pueda salir y permita la entrada del aire. Pero estos efectos pueden atribuirse también a una transformación alotrópica. En efecto, para comprobar si estos picos están siempre asociados a un fenómeno de oxidación, Rowland y Jonas (48) calentaron hasta 1.000° una muestra en atmósfera de nitrógeno (no hay reacción exotérmica) y se dejó enfriar en la misma atmósfera hasta 300° ; se reemplaza el nitrógeno por aire y aparece la desviación exotérmica; cuando esta desviación termina, se calienta otra vez la muestra hasta 1.000° en atmósfera de nitrógeno, y la curva obtenida presenta una cúpula exotérmica entre 750 y 850° . La ausencia de este cúpula en una atmósfera de nitrógeno después de la pérdida de CO_2 y su presencia invariable cuando el material expuesto al aire se calienta hasta esta zona en una atmósfera de nitrógeno, sugiere que este pico no está asociado a una oxidación, pero probablemente indica algún cambio en alguno de los productos de la oxidación previa. La naturaleza de este cambio es desconocida; pero puede ser que el material a 700° contenga cantidad apreciable de óxido férrico γ y que puede cambiar hacia hematites entre 750 y 850° .

Por rayos X solamente se ha estudiado esta fase arcillosa en alguna de las muestras, preparando cilindros para obtener diagramas por el método corriente. En la muestra de Bonaigua se encontró que contenía aproximadamente los mismos minerales que la pizarra. La

estructura de capas mezcladas no podía verse en estos diagramas, ya que el centro aparecía muy oscuro.

En resumen, hemos visto que la fase arcillosa de las pizarras está compuesta preponderantemente de minerales micáceos (especialmente illita) y minerales del grupo del caolín, siempre en menor proporción. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Millot, el cual, estudiando rocas de distinto origen, representa la curva de frecuencia de minerales arcillosos en la fracción arcillosa extraída de rocas sedimentarias en función de su medio de génesis.

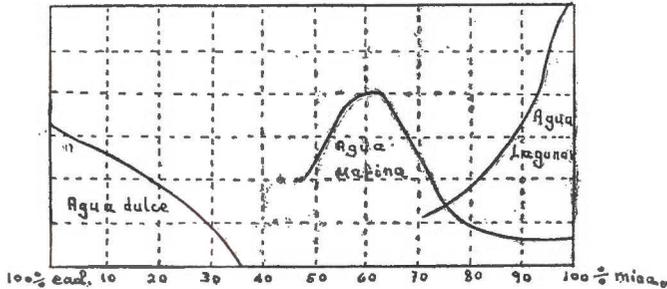


FIG. 38.

En este gráfico (figura 38) aparecen en abscisas la proporción de minerales entre 100 por 100 de caolinita y 100 por 100 de minerales micáceos; en ordenadas coloca el número de muestras de igual composición; en el gráfico aparecen tres grupos: uno de rocas nacidas en agua dulce, dominando la caolinita; en el extremo opuesto se encuentran las rocas nacidas en medio lagunar, predominando los minerales micáceos, en un grupo intermedio, pero siempre con predominio de las micas, se encuentran las rocas de origen marino; nuestras pizarras silúricas estarían situadas a la derecha de este grupo, es decir, aproximadamente sobre la ordenada correspondiente a un 80 por 100 de mica y un 20 por 100 de caolinita.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El conjunto de los resultados obtenidos por nosotros, juntamente con los de otros investigadores, nos dan una idea de la constitución de las rocas arcillosas.

Los resultados encontrados a partir del análisis por rayos X, las curvas de deshidratación, así como las determinaciones de la capacidad de cambio y cationes de cambio, etc., llevadas a cabo en las pizarras, por una parte, y el Análisis térmico-diferencial de la fracción arcillosa de dichas pizarras, por otra, permiten sentar las siguientes conclusiones:

1) En todas las pizarras, además del cuarzo, aparecen como minerales dominantes las micas, especialmente moscovita.

2) También aparece la caolinita, pero siempre en menor proporción.

3) Se encuentra clorita a título de mineral secundario.

4) La fase arcillosa de las pizarras está compuesta preponderantemente de illita; también existe caolinita, y en algunas permanece la moscovita.

A partir de estas conclusiones queremos hacer un ensayo sobre la génesis de los minerales arcillosos en relación con su medio de sedimentación, y establecer después unas deducciones geoquímicas sobre la constitución de las pizarras.

GÉNESIS DE LOS MINERALES ARCILLOSOS.

Puesto que el medio de génesis estudiado por nosotros es el mismo en todas las muestras, dadas las diversas características petrográficas que han sido puestas en evidencia, hay que pensar que las condiciones de sedimentación son variables.

Lo primordial en la génesis de los sedimentos es el medio de sedimentación; pero la variación de un solo factor origina variaciones en los otros, que traen consigo variaciones en los productos de sedimentación.

Los factores que influyen en la naturaleza de la fase arcillosa en la sedimentación son diversos.

En primer lugar, el papel del pH en la génesis de los sedimentos arcillosos ha sido puesto en evidencia por numerosos investigadores que han llegado a estas conclusiones:

a) Las rocas ácidas nacidas en medio ácido están constituidas en su mayor parte por caolinita.

b) Las rocas básicas nacidas en medio básico están formadas principalmente por minerales micáceos: illita, glauconita, hidrobiotita, montmorillonita, clorita o minerales poco diferentes desde el punto de vista cristalquímico, atapulgita y sepiolita.

De aquí parece desprenderse que la reacción ácida o alcalina de un medio regula la naturaleza de la fase arcillosa. No obstante, esto parece hoy insuficiente, y numerosas razones permiten pensar que la variación del pH de un medio y la variación de la naturaleza del mineral arcilloso que se encuentra, son consecuencia de una causa más general.

En efecto, los numerosos trabajos realizados por diferentes investigadores y en diversas disciplinas—estudiando unos los sedimentos, limos o suelos, otros las síntesis de minerales arcillosos en el laboratorio, etc., etc.—han permitido llegar a las siguientes coincidencias:

1) La mayoría de los investigadores (Lapparent (29), Ross (47), Mattson, etc.) conceden gran importancia a la presencia o ausencia de cationes.

2) La naturaleza de los cationes juega también un papel importante para los autores anteriormente citados.

3) El papel del pH es unánimemente reconocido.

4) El papel de la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ en el producto de origen se considera nulo por numerosos investigadores; por el contrario, es muy importante en las soluciones (Correns (9), Mattson (36), etc.)

5) La intensidad del lixiviado se considera también como un factor importante.

A partir de estas conclusiones podemos interpretar la formación de los minerales encontrados por nosotros en esta forma:

La presencia de cationes.—La presencia de cationes libres, supone la presencia de sales minerales capaces de disociarse: como principales aparecen las sales de ácidos débiles: carbonatos y bicarbonatos. Los cationes influyen sobre el pH del medio, y ya se sabe que éste es el que regula la solubilidad de la sílice y de la alúmina en las soluciones. En consecuencia, un medio rico en cationes libres sedimentará minerales ricos en sílice, como los minerales filitosos de tres capas agrupados bajo el tipo mica. Por el contrario, un medio pobre en cationes favorece la génesis de filitas pobres en sílice como la caolinita.

Las pizarras que nosotros hemos estudiado son de origen marino; las rocas marinas están caracterizadas por un pH alcalino; si en el medio de sedimentación las soluciones no se renuevan, hay cationes en abundancia, lo cual supone un pH básico; la solubilidad y estabilidad de la sílice y la alúmina es tal que se elimina la alúmina y se originan arcillas de tipo micáceo como las que nosotros hemos

encontrado preponderantemente. En los casos en que ha aparecido también la caolinita hay que pensar que en el medio de sedimentación los cationes fueron en parte eliminados y la solubilidad y estabilidad de la sílice es tal que la neoformación arcillosa que aparece es de tipo caolinítico.

Pero aún pueden aparecer distintos tipos de minerales en función de las variables del medio, por lo que hay también que tener en cuenta la

Naturaleza de los cationes presentes.—Los cationes existentes en el medio pueden actuar en dos formas:

Una, por sí mismos; es decir, cuando ellos entran a formar parte de la composición química y el edificio cristalino de los minerales originados; esto es evidente, y es lo que hace que aparezcan tipos variados en función de las variables del medio: ilita, cuando el medio es potásico, glauconita cuando el medio es potásico y férrico, y montmorillonita cuando el medio no es potásico; la atapulgita y sepiolita cristalquímicamente vecinas de las micas, necesitarían un medio básico pobre en potasio y aluminio, pero rico en sílice y magnesio.

Menos evidente y no obstante muy importante, es el papel que juegan algunos cationes en la formación de minerales a pesar de no intervenir en la estructura de los mismos, como es el caso del calcio y del magnesio; infinidad de hechos han demostrado que la presencia de cationes bivalentes en un medio favorecen la formación de minerales micáceos, bloqueando la génesis de la caolinita. El calcio y magnesio floculan los coloides hidrófobos como la alúmina, la cual separada así del medio, se elimina en la formación silicatada y aparece la red micácea.

CONSECUENCIAS GEOQUÍMICAS.

Los resultados encontrados sobre la constitución de las pizarras, permiten enfocar bajo un aspecto particular ciertos problemas geoquímicos.

Los sedimentos arcillosos son como todos los sedimentos un producto cuyo primer origen es la alteración de los continentes, después ellos originan las formaciones metamórficas más conocidas hoy día: la serie de las rocas sílico-aluminosas formadas por esquistos, mica-esquistos y gneis. Entre la degradación de las rocas cristalinas y el origen del metamorfismo, los depósitos arcillosos forman una

etapa en el inmenso ciclo que recorren sin cesar los elementos constitutivos del globo. Pero no cabe duda que el conocimiento cada vez más preciso de las rocas arcillosas aclararán algunas de estas etapas.

Veamos ahora algunas consecuencias sobre la composición de los esquistos arcillosos y su lugar en el metamorfismo.

En general el análisis químico de todos los sedimentos arcillosos acusa un predominio del potasio sobre el sodio y del magnesio sobre el calcio. La razón K/Na es 2,8 para Clarke y Washington (78 análisis), de 4,7 para Millot (41), 30 análisis hechos sobre la fase arcillosa pura extraída de rocas sedimentarias, y de 3,5 para Lapadu Hager (33). Nosotros hemos encontrado en las pizarras como valor medio para la razón $K_2O/Na_2O = 2,46$. La razón Mg/Ca es de 3,0 para Millot, de 4,7 para Lapadu Hager, y para nosotros vale la razón MgO/CaO 2,11.

Se sabe por las estadísticas que estas relaciones son mucho más bajas en los granitos. La razón K/Na pasa de 3 a 1, y la razón Mg/Ca de 4 a 1/2.

Ronsenbusch (46) da una interpretación a estos hechos basándose en la diferente solubilidad de los carbonatos: los de sodio y calcio son más solubles que los de potasio y magnesio. A lo largo de los fenómenos de alteración de los macizos que contienen rocas silicatadas, los silicatos sódico y cálcico se alterarán más fácilmente; en cambio, los de potasio y magnesio resisten mejor, son arrastrados mecánicamente y vuelven a aparecer en los sedimentos cuarzo-filitosos donde se acumulan. Respecto al lavado de los silicatos, se arrastra preferentemente el calcio y sodio, debido a la solubilidad de sus bicarbonatos sobre el de calcio.

Pero esta interpretación no se admite hoy día, y las reglas que dirigen la formación de los minerales silicatados, tienen poco que ver con la solubilidad de los carbonatos de los diferentes cationes en el agua, y en cambio están regidas por la cristalografía de los silicatos.

En efecto; sabemos que las rocas arcillosas están constituidas preferentemente por caolinita y por el conjunto de minerales agrupados bajo el tipo mica: el grupo de la Illita más o menos hidratada, el grupo de las hidrobiotitas-vermiculitas, y el grupo de las cloritas. La estructura de estos minerales es la que debe dar cuenta de la frecuencia del Na, K, Ca y Mg en las rocas cuarzo-filitosas.

A) *Minerales micáceos*.—Estos minerales dominan en la mayoría de los sedimentos. De la estructura de las micas establecida por los

trabajos de Maugín (38) y Pauling (43), se puede uno dar cuenta, considerando la estructura de una hoja elemental de moscovita:

1) Una capa octaédrica de oxígeno con centro de aluminio, está comprendida entre dos capas tetraédricas con centro de silicio. 2) Un silicio de cada cuatro está reemplazado por un aluminio, cuyo diámetro iónico es semejante al de él. Por lo tanto, se crea un déficit de valencia para la hojuela. 3) Este déficit está compensado por los grandes iones K^+ que están situados entre las hojuelas, y que aseguran las uniones entre ellas (figura 39).

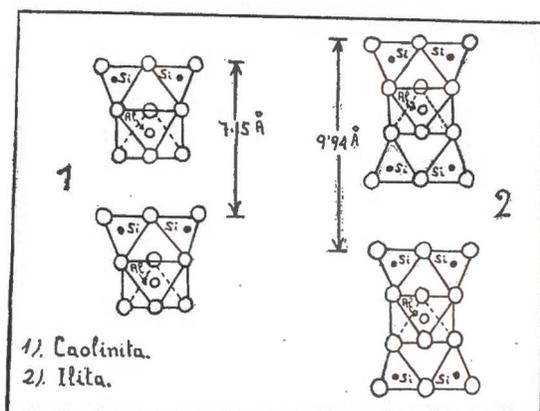


FIG. 39.

Según esto, veamos las posibilidades que se presentan.

a) Calcio y magnesio en la capa octaédrica. Estos minerales micáceos, pueden admitir en la capa octaédrica de su armazón un reemplazamiento isomórfico de Al por Fe^{2+} , Fe^{3+} y Mg. El Ca, por el contrario, es mucho más grande, su radio iónico es $1,06 \text{ \AA}$ en lugar de $0,78$ que tiene el Mg, y además su posición clásica es octocoordenada y no exacoordenada; por esto los cristalóquímicos no admiten que el Ca pueda sustituir con facilidad al Mg. Por eso las micas son mangnésicas y no cálcicas. La misma explicación en sentido contrario es la que impide concebir feldespatos magnésicos, y en cambio son tan frecuentes los cálcicos, y de hecho los feldespatos magnésicos no se conocen.

b) Potasio y sodio en la capa intermedia. Si bien las redes micáceas pueden ser magnésicas, son siempre potásicas porque el K prefiere siempre la posición dodecaordenada, y la encuentra entre las

hojuelas de la estructura abierta de las micas a cuya unión contribuye. El Na, aunque más pequeño, puede sustituir al potasio, pero siempre en proporciones mucho más bajas, porque este ión prefiere la coordinación exa (19) y sobre todo la octocoordenada. El Ca lo mismo que el Na resultaría demasiado pequeño para ocupar estas posiciones dodecaordenadas de las micas. Por esto las micas sódicas tales como la paragonita y la bramalita (6) son raras en la naturaleza.

c) Vermiculitas y cloritas. No es raro que las hojas de la mica estén unidas por iones magnésicos cambiables o por capas de brucita; en este caso nos encontramos en el grupo de las vermiculitas, y también en el de las cloritas, donde el magnesio interviene cada vez más.

B) *Minerales caoliníticos*.—Otro mineral que nosotros hemos encontrado aunque en menor proporción es la caolinita, y suele ser muy importante en las series sedimentarias sílico-aluminosas, sobre todo en las marinas, donde rivaliza a veces con los minerales micáceos.

Su estructura es la siguiente:

1) Una capa de tetraedros de oxígeno con centro de silicio; todas las bases de los tetraedros están sobre un mismo plano, y los vértices dirigidos del mismo lado de este plano. 2) Una capa de octaedros de oxígeno con centro de aluminio; los vértices libres de los tetraedros coinciden con ciertos vértices de los octaedros. 3) Ciertos oxígenos son reemplazados por grupos OH (figura 39). No se admite que la red de la caolinita pueda soportar reemplazamientos isomórficos en su estructura. Pero puede pensarse en cationes adsorbidos que son importantes en las rocas caoliníticas; ahora bien, en el fenómeno de la adsorción es el potasio el que se adsorbe de manera preferente en la naturaleza.

En total, a través de estos razonamientos puede verse que los cationes presentes en el agua desempeñan un papel desigual en la sedimentación arcillosa; participan preferentemente en ella aquellos iones metálicos que encuentran un lugar «a medida» en la red que se construyen (caso del potasio y del magnesio); en cambio, quedan sin colocación aquellos otros que en el edificio silicatado no encuentran un lugar apropiado, como es el caso del Ca y del Na, por lo cual la sedimentación silicatada no los utiliza de manera importante, pero sí participan en otras sedimentaciones (depósitos salinos y sedimentaciones carbonatadas). Por esto la composición química de las rocas arcillosas es tan diferente de las graníticas, que son sin em-

bargo las que representan el último término de su metamorfismo en el que van a modificarse profundamente las proporciones iniciales; la razón K/Na baja de 3 a 1, y la Mg/Ca de 4 a 1/2.

En lo referente al metamorfismo Lapadu Hagues (72) lo explica observando en primer lugar lo que concierne a los alcalinos y después a los alcalinos-térreos.

1) Alcalinos. Durante el metamorfismo general la aportación de potasio es nula al principio, por el contrario la de sodio comienza desde el primer momento hasta llegar al nivel de los gneiss superiores en que ya las cantidades de potasio y sodio crecen conjuntamente. (Nótese que este restablecimiento de igualdad entre sodio y potasio coincide con la aparición de los feldespatos.) Uno de los primeros efectos del metamorfismo será, pues, compensar en el material silicatado el déficit del sodio que se había separado de la sílice y de la alúmina en la hidrosfera.

2) Alcalino-térreos. Por lo que se refiere a estos elementos, las cosas son diferentes. El contenido en magnesio decrece con el metamorfismo creciente, mientras que el contenido en calcio aumenta. El decrecimiento de MgO muestra una caída brusca entre los gneiss superiores (con dos micas) y los gneiss inferiores con biotita solamente. (Nótese que esta caída de magnesio es particularmente sensible en el momento donde los feldespatos se desarrollan abundantemente a partir de la moscovita). Paralelamente la proporción de CaO aumenta regularmente.

De otra forma podríamos también explicar la geoquímica de los alcalinos y alcalino-térreos en el metamorfismo de las rocas arcillosas teniendo en cuenta los cambios estructurales que acompañan al metamorfismo; Lapparent (32) ha demostrado que en la granitización existe lo que él llama «cambio o juego del aluminio». En la hidrosfera el aluminio se encuentra en posición exacoordenada, sea en los hidróxidos de aluminio, sea en la colinita. Después en la región de los esquistos y mica-esquistos, el aluminio se encuentra repartido entre las posiciones exa y tetracoordenadas en las red de las micas y cloritas (1/2 tetra y 2/3 exa). Por último, en el granito, caracterizado esencialmente por su feldespato, el Al es tetracoordenado. En el caso de los alcalinos y calcio, razonando según las leyes de la cristaloquímica vimos que sirven de complemento en las estructuras, llenando las lagunas de la red que satisfacen el déficit de valencia originado por la entrada del aluminio en los tetraedros de sílice. Así, pues, la cantidad y calidad de los reemplazamientos tetraédricos del

aluminio están ligados al cambio o «juego» de los alcalinos. En la hidrosfera, el K es la mejor ligazón de la materia silicatada (por su posición dodecaordenada), entre las hojuelas micáceas. El Na y Ca permanece globalmente fuera del «cambio». Por el contrario, en las zonas en que el granito se ha organizado el «juego feldespático» del aluminio se verifica a lo largo del metamorfismo, y el potasio, sodio y calcio pueden entrar en las estructuras para llenar las lagunas de la red, que esta vez se encuentra a su medida. Por esto en las rocas feldespáticas el sodio y potasio están en igualdad funcional, que coincide con una igualdad de proporciones. El contenido de calcio—que funcionalmente es igual al sodio y potasio—se aproxima al contenido de estos dos elementos, mientras que en la hidrosfera se había separado con el sodio de las combinaciones sílico-aluminosas. De una manera análoga se puede ver que en el «juego» feldespático el magnesio no tiene sitio, lo mismo que el hierro a quien se parece y está asociado. Al paso que se acentúa el «juego» feldespático de la materia silicatada, y a medida que se regeneran los feldespatos a partir de la red micácea de los esquistos y mica-esquistos, el magnesio y el hierro se encuentran sin colocación. En proporción con este decrecimiento, sólo pueden subsistir en los «ferromagnésicos» de los granitos. En total, el hierro y el magnesio se hacen cada vez más raros a medida que las estructuras los toleran menos.

Hemos visto, pues, que las variaciones de composición entre los sedimentos arcillosos y el estado del metamorfismo se pueden expresar de dos formas distintas: en el lenguaje propiamente químico y en el lenguaje estructural. Ambos describen dos aspectos distintos de un mismo fenómeno y permiten aproximarse de modo diferente a su origen.

INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL.

Sección de Química-Física de Madrid.

RESUMEN

Se ha completado el estudio de las pizarras españolas del Silúrico, comenzado en un trabajo anterior, encontrando que en la casi totalidad de las pizarras estudiadas la cantidad de MgO es superior a la de CaO: el promedio de MgO es 2,02 y el de CaO 1,63. Esta preponderancia del MgO frente al CaO que presentan las pizarras silúricas contrasta con lo que ocurre en los suelos en donde el CaO es más abundante que el MgO.

El contenido en bario y estroncio de las pizarras silúricas determinados espectrográficamente es muy pequeño; inferior en general al 0,001 por 100. No puede ob-

servarse por lo tanto en las muestras estudiadas por nosotros un enriquecimiento de bario y estroncio en los sedimentos arcillosos. En cambio, el contenido de potasio es netamente superior al de sodio; la razón K_2O/Na_2O vale 2,46 y puede, por lo tanto, hablarse de un enriquecimiento de potasio frente al sodio.

Se han determinado la capacidad total de cambio y los principales cationes de cambio en las pizarras. El catión que se presenta en mayor proporción es el Ca seguido del Mg. Esto parece sugerir que el Mg adsorbido forma con el tiempo compuestos complejos que son más estables que los de Ca.

La composición mineralógica de las pizarras se ha determinado por diferentes métodos: a) observación de cortes delgados en el microscopio petrográfico; b) curvas de deshidratación. c) análisis por rayos X.

a) El estudio petrográfico ha demostrado que en todas las muestras existen en gran cantidad granos de cuarzo finísimos con algunos de carbón y óxidos de hierro (magnetita, oligisto y limonita), más la sustancia arcillosa con pajitas o escamas de mica en cantidad variable de unas muestras a otras.

b) Las curvas de deshidratación han demostrado que las pizarras presentes experimentan por calcinación a 800° pérdidas moderadas de agua cuyo promedio es de 5,8 por 100. El curso de las curvas parece indicar claramente que la mica es uno de los minerales predominantes, lo cual concuerda con el elevado contenido de potasio que poseen las muestras. En cambio, minerales del grupo del caolín no parece que existan en proporción superior al 10 por 100. Minerales montmorilloníticos no existen prácticamente.

c) El análisis por rayos X, además de comprobar la presencia de cuarzo y de minerales del tipo mica, ha puesto de manifiesto que es la moscovita el mineral que existe preponderantemente; los minerales caoliniticos se encuentran en proporción inferior al 10 por 100; también clorita en pequeña proporción. Se ha encontrado también una estructura de capas mezcladas de mica y clorita.

Se ha obtenido la fase arcillosa de las pizarras de forma que en ella se encuentren, a ser posible, solamente los minerales arcillosos contenidos en las pizarras. Se ha estudiado esta fase arcillosa por medio del análisis químico y el análisis térmico diferencial.

Del análisis químico se deduce que en esta fracción la composición química ha sufrido, respecto de la composición de la pizarra, una disminución de sílice y un aumento de alúmina juntamente con una disminución de CaO. La cantidad de potasio en general disminuye.

La disminución del valor de SiO_2 en la arcilla está de acuerdo con la presencia de cuarzo en las pizarras.

Comparando el contenido en K_2O de esta fracción con las curvas de frecuencia (dadas por algunos autores) que dan el contenido en potasa de la fase arcillosa de rocas sedimentarias de distinto origen, se encuentra que coincide con el que presentan las rocas de origen marino de dicha curva, como corresponde a su medio de génesis. El contenido de MgO también está dentro del que presentan las rocas marinas en la curva de frecuencias de la variación del MgO.

Las curvas de análisis térmico diferencial de la parte arcillosa nos han puesto de manifiesto que en esta fracción es la illita el mineral que se encuentra más abundante: en algunas sigue apareciendo la moscovita y también parte de caolinita. Este resultado está de acuerdo con los obtenidos por otros autores que han encontrado que en las rocas de origen marino el contenido en minerales micáceos varía entre 50 y 100 por 100, siendo el resto minerales caoliniticos.

Se hace un ensayo sobre la génesis de los minerales, encontrando una coincidencia entre el pH del medio marino y la presencia de minerales micáceos.

Con ayuda de las hipótesis geoquímicas aceptadas hoy día, se ha encontrado una relación causal entre la constitución micácea y el medio de génesis. Se explica además a través de leyes cristaloquímicas, cómo los cationes presentes en el medio de sedimentación desempeñan un papel diferente en la formación de las distintas estructuras de minerales silicatados.

SUMMARY

The study of Spanish Silurian clays already published in a previous paper has been completed. In nearly all the clays studied the quantity of MgO proved higher than that of CaO. The average of MgO is 2.02 and of CaO 1.63. This predomination of MgO with regard to CaO shown by the Silurian clays is in contrast with the soils where CaO is more abundant than MgO.

The barium and strontium content of Silurian clays spectrographically determined is very small; generally less than 0.001 %. Therefore no enrichment of barium and strontium in clay sediments could be observed in the samples studied by us. On the other hand the potassium content is extremely high with regard to that of sodium; the ratio K_2O/Na_2O is 2.46 and we can thus speak of an enrichment of potassium with respect to sodium.

The total exchange capacity and the principle exchange cations in clays were determined. The cation present in great est quantities is Ca, followed by Mg. This suggests that in time the absorbed Mg forms complex compounds which are more stable than those of Ca.

The mineralogical composition of clays was determined by different means:

- a) Observation of thin sections with the petrographic microscope.
- b) Dehydration curves.

a) The petrographical study has shown that in all samples there exists a large quantity of very fine quartz grains together with some of carbon and iron oxides (magnetite, olgiste and limonite) and furthermore clay substances with small blades or scales of mica in a quantity varying from one sample to the other.

b) The dehydration curves have demonstrated that by calcination at 800° C. the clays present undergo moderate losses of water the average of which is 5.8 %. The course of the curves seems to indicate clearly that mica is one of the predominating minerals, which agrees with the high potassium content of the samples. On the other hand minerals of the kaolin group do not seem to exist in a proportion higher than 10 %. Montmorillonite minerals are practically absent.

The selective adsorption of barium and magnesium also shows a considerable proportion of mica, which varies between 9.6 and 38.4; the average value of all is 21.9.

X-ray analysis proves not only the presence of quartz of a mica type, but also that muscovite is the predominant mineral; the kaolinite minerals are less than 10 %; the same can be said of chlorite. There was also found a structure of mixed layers of choride and mica.

We tried to obtain the clay phase of slates in such a way that only the clay minerals were present in the phase. This phase was studied by means of chemical and differential thermal analysis.

From the chemical analysis it is deduced that in the fraction the chemical composition has suffered with regard to the composition of the slate a decrease of silica and increase of alumina together with a decrease of CaO. The amount of potassium is reduced in general.

The reduction of the SiO_2 value in clay agrees with the presence of quartz in slates.

When the K_2O content of this fraction was composed with the frequency curves (given by some authors) which give the potash content of the clay phase of sedimentary rocks of different origin, it was found to coincide with that of the rocks of marine origin of the curves, as corresponds to its medium of genesis. The Mg content is also within that shown marine rocks in the frequency curves of the variation of MgO.

The curves of differential thermal analysis of the clay part have shown that in this fraction illite is the most abundant mineral; in some of them muscovite is to be found and also quantities of kaolinite. This result agrees with those obtained by other authors who found that in rocks of marine origin the content of micaceous minerals varies between 50 and 100 %, the rest being of kaolinite minerals.

A test was carried out on the genesis of minerals and it was found that a relationship exists between the pH of the marine medium and the presence of micaceous minerals.

With the help of the geochemical hypothesis accepted nowadays, there was found a causal relation between the micaceous constitution and the medium of genesis. By crystallo-chemical laws it is explained how the cation present in the sedimentary medium play a different rôle in the formation of the distinct structure of silicated minerals.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALBAREDA, J. M. y ALEIXANDRE, V. 1946. Sobre la aditividad en las deshidrataciones de las mezclas de los minerales de la arcilla. Coimbra.
- (2) ——— ALEIXANDRE, V. y SÁNCHEZ CALVO, M. C. 1949. Contribución al estudio de las pizarras españolas del Silúrico. *An. Edaf. Fis. Veg.* VIII: 673-702.
- (3) ——— ALEIXANDRE, V. y GARCÍA VICENTE, J. 1950. *Anal. Edaf.* IX, núm. 3.
- (4) ALDRICH, D. G., HELLMANN, N. N. y JACKSON, M. L. 1944. *Soil Sci.* Mars 57: 215-31.
- (5) ALEIXANDRE, V. 1949. *Anal. Edaf.* VIII: 33.
- (6) BANNISTER, F. 1943. *Miner. Magt.* 26: 304-307.
- (7) BRADLEY, W. F. 1940. The structural scheme of Attapulgite. *Amer. Miner.* núm. 3, p. 205.
- (8) ——— 1945. *Amer. Miner.*, nov-dec 30: 704-16.
- (9) CORRENS, C. W., BARTH, T. V. y ESKOLA, P. 1939. Die Entstehung der Gesteine. J. Springer, Berlin.
- (10) DEBYE, P. y SCHERRER, P. 1916. *Phys. Ztsch.* 17: 227, 1917-18.
- (11) DEMOLON, A. y BASTISSE, E. 1935. Sur la dispersion des colloides argileux. *Annales Agr.*, núm. 1: 1-15.
- (12) DREYFUSS, M. 1934. *Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs*, núm. 44.
- (13) ENDELL, J. 1946. Nachweis der Forestruktur von Fullererde (Attapulgite) im Elektronenmikroskop. *Z. Nat. Forsch.* nov-déc I: 646-9.
- (14) FRANCIS-BOEUF, CL. 1947. *C. R. Ac. Sci.* 225: 392.

- (15) FREDERICKSON, P. 1948. *Amer Miner.* 33: 372.
- (16) GOLDSCHMIDT, V. M. 1945. The geo-chemical «background» of minorelement distribution. *Soil Sci.* 60: 1-7.
- (17) GRIM, R. E., CLARK, G. L. y BRADLEY, W. F. 1937. Nota sobre la identificación de minerales en las arcillas por difracción de rayos X. *Zisch. f. Kristall*, vol. 96, núm. 4: 322.
- (18) ——— 1942. *Jour. Geol.* Avt-Mai, 50: 225-75.
- (19) GRUNER, J. W. 1942. *Amer Miner.* 27: 131-4.
- (20) HARVEY, H. W. 1949. *Chimie et biologie de l'eau de mer.* Presses universitaires de France. Paris.
- (21) HENDRICKS, S. B. y ALEXANDER, L. T. 1939. *Soil Sci.* 48: 257.
- (22) HULL, A. V. 1917. *Phys. Rev.* 9: 84 y 564.
- (23) JACOB, J. 1944. Guía para el análisis químico de las rocas.
- (24) ——— HOFMANN, U. LOOFMANN, H. y MAEGDEFRAU, E. 1935. Chemische und röntgenographische Untersuchungen über die mineralische Sorptions-substanz im Boden. *Beih. zur. Angew. Chem und Die Chem. Fabrik*, núm. 21.
- (25) JACKSON, L. y HELMANN, N. 1941. *Prc. Soil. Sci. Soc. Amer.* 6: 133-145.
- (26) KELLEY, V. P. y JENNY, H. 1936. *Soil Sci.* 41: 307.
- (27) ——— 1946. *Soil Sci.* 62: 469.
- (28) KERR y KULP, J. L. 1947. *Amer. Miner.* 32: 678.
- (29) LAPPARENT, J. DE. 1936. *C. R. Ac. Sci. Paris.* 203: 553.
- (30) ——— 1937. *Zeit. Krist. B.* 98: 233-258.
- (31) ——— 1937. C. R. II Congres. inter. de Petróleo.
- (32) ——— 1941. *La Revue Scientifique*: 585-292.
- (33) LAPADU-HARGUES, P. 1945. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 5.ª serie, t. 15.
- (34) LUCAS, G. 1948. *C. R. Ac. Sci.* 226: 937.
- (35) MACEWAN, D. M. C. 1944. *Nature.* 154: 577-78.
- (36) MATTSOM, S. 1928. *Jour. Phys. Chem.* 32: 1.532-1.552.
- (37) ——— 1931. *Soil Sci.* XXXI, Jan-June.
- (38) MAUGUIN, C. 1928. *Bull. Soc. Franc. de Mineralogie.* LI: 285-332.
- (39) MERING, J. 1946. *Trans of the Faraday Soc.* XLII B: 205-219.
- (40) MICHAUD, R. 1948. *C. R. Ac. Sci. Paris.* 226: 346.
- (41) MILLOT, G. 1949. *Geol. App. y Pos. Min.* II: 56.
- (42) NAGELSCHEIDT, G. 1936. *Zeits. Krist.* 93: 481-487.
- (43) PAULING, L. 1930. *Proc. Acad. Sci.* 16: 123-129.
- (44) RIVIERE, A. 1946. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 5.ª serie, 16: 43-55.
- (45) ——— *Bull. Soc. Geol.* 12.ª serie, 16: 463-469.
- (46) ROSENBUSCH. 1923. *Elemente der Gesteinslehre.* Stuttgart.
- (47) ROSS, C. S. 1945. *J. Amer. Ceram. Soc.* 28: 173-83.
- (48) ROWLAND, R. A. y JONAS, E. C. 1949. *Amer. Mineral.* 33: 372..
- (49) SONDER, R. A. 1946. *Eclo. geol. Helvetiae.* 39, núm. 2: 260-263.
- (50) THIEBAUT, L. 1925. Contribución al estudio de sedimentos arcillo-calcáreos del Bassin de Paris These, Nancy.
- (51) TWENHOFEL, W.-H. 1939. *Principles of Sedimentation* McGraw-Hill, New York and London.
- (52) URBAIN, P. 1942. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 5.ª serie, 12: 97-120.
- (53) WILLIAMS, R. 1936. *J. Sochem Ind.* 55: 267.
- (54) ZOBERLEIN, H. 1938. *Bodenk. und Pflanz.* 9, 10: 211.

ESTUDIOS SOBRE FERTILIDAD QUIMICA EN SUELOS TABACALEROS ESPAÑOLES

I.—LA DISTRIBUCION DEL FOSFORO INORGANICO EN SUELOS SILICO-HUMICOS DE CACERES Y AVILA

por

JOSE M.^a SEQUEIROS y JUAN A. GALBIS

Objetivo fundamental de los estudios sobre fertilidad química respecto a un elemento nutritivo; es el relacionar algunas formas o fracciones de dicho elemento, de las presentes en el suelo, con la respuesta de la cosecha y mantenimiento del nivel de fertilidad. Estas formas o fracciones son aquellas cuyas variaciones en cantidad o intensidad, van seguidas de variaciones correlativas de la cosecha, y respuesta a la adición de fertilizantes.

Los métodos químicos corrientemente utilizados en este tipo de estudios son, en su mayor parte, puramente empíricos y se basan en experiencias de correlación entre los resultados de Laboratorio, y la respuesta de la cosecha en un área de suelos con propiedades determinadas, por lo que su generalización se hace difícil.

Dicha generalización ofrece aún mayor dificultad cuando se trata de valorar elementos tales como el fósforo, que puede fijarse en el suelo mediante mecanismos distintos (19), adoptando diversas formas con propiedades variables y cuya utilidad está fuertemente influida por características propias del tipo del suelo.

Por tanto, cuando se trata de una serie de suelos en los que la naturaleza química y distribución de los compuestos fosfatados presentes nos sean desconocidas, una investigación previa sobre estos extremos, más amplia que la dada por los métodos convencionales, será básica como punto de partida de ulteriores estudios de co-

relación entre la naturaleza y cuantía de dichos compuestos y su utilidad para las plantas.

La necesidad de este fraccionamiento previo ha sido puesta de manifiesto, entre otros, por Dickman y Bray (8), Deans y Rubins (7) y Burd (3) y constituye el objetivo del presente trabajo.

ANTECEDENTES

Los conocimientos actuales sobre la distribución de los compuestos fosfatados posibles en el suelo, permite agrupar a estos en tres clases generales (14): *a*) Compuestos inorgánicos de composición y solubilidad varia. *b*) Compuestos orgánicos contenidos en los residuos de plantas y animales y como productos de síntesis micro-biológicas; y *c*) Compuestos orgánicos-inorgánicos que se encuentran en las células de la materia viva, y que sirven, en cierto modo, de conexión entre las otras dos clases generales.

De éstas son los compuestos inorgánicos lo mejor estudiados, debido a que constituyen la fracción más importante en la mayoría de los suelos.

Estos pueden encontrarse en el suelo en tres formas generales: 1, Fosfatos de calcio y magnesio de composición y solubilidad varia. 2, Fosfatos de hierro y aluminio; y 3, Fósforo adsorbido o cambiante. En cada una de ellas, el número de compuestos posibles es relativamente elevado, lo cual unido a su complejidad, hace que muchos de ellos no hayan sido aún aislados y positivamente identificados.

Debido a estas dificultades, los métodos químicos para separar y distinguir cada uno de estos compuestos, han tenido un lento desarrollo, hasta el punto que puede decirse que no existe ningún reactivo ni método químico, capaz de realizar dicha separación.

Por ello, la tendencia seguida en estudios de fraccionamiento, ha sido aislar grupos específicos atendiendo a su forma o estructura química.

En los estudios de fraccionamiento realizados por Dean (4), Fisher y Thomas (9) y Truog y Dean (20) fué ya tenido esto en cuenta. Estas primeras tentativas de fraccionamiento realizadas por dichos investigadores, estaban basadas en reacciones de solubilidad en ácidos o ácidos taponados a distintos valores de pH y diferentes tiempos de extracción.

La importancia creciente que a partir de los trabajos de Mattson (11) se le concede al fósforo fijado en forma adsorbida, y el

hecho de que dicha forma no es afectada o lo es en muy pequeña escala por los reactivos ácidos utilizados en estas separaciones, hizo pensar, en la utilización de otros reactivos.

Murphy (13) y Dean (5) propusieron el uso de sosa 0,1 N como extractora y separadora de las formas adsorbidas, de las que se encuentran como precipitado químico. Esta división es ya un primer paso en la tendencia actual a separar y considerar aisladamente, los dos grupos de formas (adsorbida y soluble en ácidos) que son más afectadas por las cosechas, abonados y cambios en las propiedades del suelo.

Este reactivo alcalino, aunque no es el ideal para realizar dicho fraccionamiento, dado su efecto solvente y desplazante sobre algunas de las otras formas coexistentes, se sigue utilizando, pues al menos proporciona una visión y orientación sobre la distribución y clase de fosfatos presentes en el suelo.

Sin embargo, un estudio químico del papel que los distintos grupos de formas de fosfatos tienen en la nutrición y de los cambios que en ellos se originan por cambios en las propiedades del suelo, depende de su aislamiento y valoración cuantitativa, lo cual debe ser objetivo inicial de todo estudio de fraccionamiento. Para ello es necesario un reactivo más selectivo que el indicado anteriormente.

Russell y Prescott (16) mostraron que diversos aniones podían ser fijados en el suelo mediante reacciones de cambio, por lo que pudieran ser de utilidad para desplazar las formas adsorbidas de fósforo. Los estudiados y su orden en relación a su capacidad de cambio es el siguiente: oxalato > citrato > sulfato > cloruro > nitrato. Dickman y Bray (8) propusieron el ión fluoruro y Rubins y Dean (15) el ión arseniato.

Kurtz, De Turk y Bray (10) y Dean y Rubins (6) ensayaron la capacidad de desplazamiento para el fosfato adsorbido sobre suelos y arcillas de una serie de aniones más amplia que la estudiada por los anteriores, llegando a la conclusión que los iones fluoruro, oxalato, citrato y oxhidrilo poseen una alta capacidad de cambio, desplazando prácticamente la totalidad del fósforo adsorbido. Los iones arseniato y tartrato, parecen ser menos activos, por lo que su efecto desplazante sobre el fósforo adsorbido no puede ser considerado cuantitativo.

Los iones citrato y oxhidrilo tienen el inconveniente de que extraen por disolución parte de las otras formas presentes. Es el ión fluor, por tanto el que se considera más adecuado para la extracción

de las formas adsorbidas siendo el más utilizado en la actualidad. Su gran eficacia en desplazar el fósforo adsorbido sobre suelos y arcilla, ha sido relacionada con su facilidad para formar complejos muy estables con el hierro y aluminio y con la propiedad de ser isomorfo con el ión fosfato en numerosos compuestos.

Dada, por tanto, la posibilidad de extraer por medios químicos un grupo de formas de fosfatos separadamente, la división más utilizada en estudios de fraccionamiento es la siguiente:

Fracción I.—Fósforo adsorbido o cambiable.

Fracción II.—Fósforo soluble en ácidos.

Fracción III.—Compuestos inertes de fósforo.

Esta división es en esencia la dada por Dean (5) en la que se ha sustituido la fracción soluble en álcali por la más definida de fósforo cambiable. Ella ha sido la adoptada por nosotros en el presente estudio de fraccionamiento.

PARTE EXPERIMENTAL

SUELOS.

El material experimental lo constituye una serie de veinte suelos típicos, dedicados al cultivo del tabaco en regadío, en las provincias de Cáceres y Avila. La descripción general de las muestras y algunas de sus características agrológicas han sido publicadas anteriormente (17 y 18). Todos ellos están formados o proceden de rocas silíceas más o menos ácidas (rocas estratificadas cristalinas, granitos, gneis y aluviones cuarcíticos) por lo que el carbonato cálcico está ausente en todos ellos. El pH de ellos está comprendido entre 4,4 y 7,5. Estos suelos han sido clasificados por Albareda y Asensio (1) como sílico-húmicos, y sus propiedades y características edafológicas y agrológicas son muy poco conocidas.

La mayoría de ellos han recibido en diferentes épocas aportaciones de fertilizantes, principalmente fosfatados y nitrogenados, así como ligeras enmiendas calizas.

ORIENTACIÓN PREVIA SOBRE LA DISTRIBUCIÓN Y SOLUBILIDAD DEL FÓSFORO INORGÁNICO.

Los conocimientos actuales sobre el comportamiento del ion fosfato en los suelos, han puesto de manifiesto la estrecha relación entre el pH y la distribución y propiedades de las formas inorgánicas presentes.

En términos generales puede decirse que el comportamiento del ión fosfato, a cambios de pH del suelo, es distinto y opuesto en aquellos en los que dominan los fosfatos de los metales alcalino-térreos (suelos calizos) que en los que la fracción dominante la constituyen los fosfatos de hierro y alúmina o los adsorbidos sobre los minerales de la arcilla u óxidos hidratados. A estos suelos, en los que domina esta fracción, los vamos a denominar de tipo caolínítico.

Basado en estas ideas generales y en la multitud de datos que las confirman, Burd (3) ha expuesto la creencia de que la solubilidad potencial de los fosfatos inorgánicos del suelo puede ser puesta de manifiesto por las cantidades disueltas a lo largo de los pH característicos del mismo—entre 3 y 9—y que ello proporcionaría como primer fruto una visión general de las formas inorgánicas presentes, mediante un método gráfico sencillo y rápido, lo cual es de gran utilidad, sobre todo en aquellos suelos en los que por sus características no podemos saber con certeza los compuestos fosfatados que puedan tener el papel dominante.

El método que hemos empleado es el propuesto por Burd (3). Las medidas del pH de las suspensiones respectivas, se han efectuado con un potenciómetro Beckman de electrodos de vidrio.

La valoración del fósforo en las distintas soluciones se ha efectuado colorimétricamente por los métodos propuestos por Bray y Kurtz (2).

El colorímetro utilizado para estas medidas ha sido un «Etko», el cual ha sido modificado en el sentido de sustituir las pilas secas originales por una batería de 6 v. que se tiene constantemente conectada con la red de alumbrado con un rectificador intermedio, con lo cual se consigue tener la batería cargada al máximo, sirviendo ésta como reguladora de las oscilaciones de la corriente.

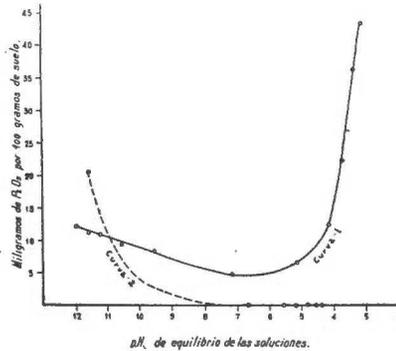
Las características generales de las curvas en casos extremos de cada tipo, son las dadas en la gráfica núm. 1. Su trazado es característico para los casos extremos, pero los casos intermedios pueden ser perfectamente identificados.

La curva núm. 1 es característica en suelos calizos. Los valores del fósforo extraído por las soluciones ácidas varían considerablemente, y tienden a ser más correlativos con los valores del pH de la suspensión que con los de las soluciones usadas. Ello están influenciados por el poder tampón particular del suelo y por la solubilidad de los compuestos minerales presentes, y todo ello influye en la mayor o

menos inclinación de esta rama de la curva. La rama de la curva en el lado alcalino tiene escasa pendiente, debiéndose en parte al fósforo extraído del humus por la solución alcalina. Ello, sin embargo, no es obstáculo para su identificación, pues como veremos en los de tipo caolínítico, dichos valores tienden siempre a ser más elevados en esta rama de la curva.

La curva núm. 2 es característica en los de tipo caolínítico. En ella las cantidades absolutas de fósforo extraídas por las soluciones ácidas tienden a ser siempre más bajas que las extraídas por el reactivo alcalino.

Los suelos se han agrupado, para su representación gráfica, por la similitud en el trazado de las curvas correspondientes, clasificándose en principio según dicha agrupación.



GRÁFICA 1.
Curvas tipo.

En la tabla I exponemos los valores del fósforo extraído por las diferentes soluciones y el pH del suelo.

La representación gráfica de los valores de dicha tabla en función del pH de las suspensiones, puede verse en las gráficas 2, 3, 4 y 5.

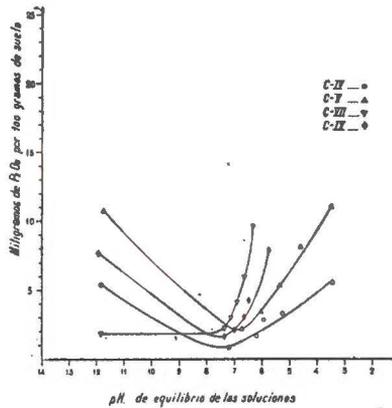
El examen de los resultados obtenidos y de las curvas correspondientes muestra que en casi todos los suelos estudiados ambas formas generales de fosfatos están presentes, aunque sus cantidades relativas varían de un grupo a otro.

En los agrupados bajo la denominación de calizos, los fosfatos solubles en ácido (fosfatos de calcio, magnesio, etc.) tienen un papel dominante y la elevación relativa de las curvas en el lado alcalino debe atribuirse en su mayor parte al fósforo desplazado por la solución alcalina de la materia orgánica. El pH de estos suelos está comprendido entre 6,1 y 7,5.

T A B L A I

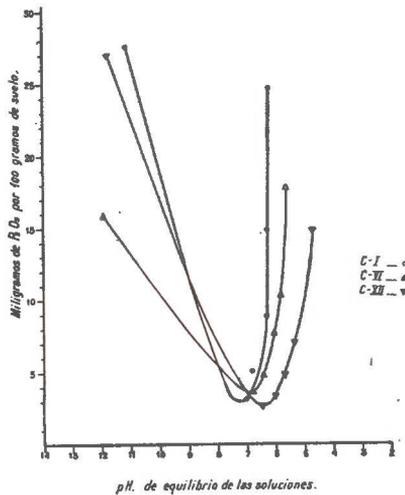
MUESTRAS	SOLUCIONES DE ÁCIDO CLORHÍDRICO								agua		Sosa		pH del suelo
	0,002 N		0,004 N		0,006 N		0,01 N		pH	P ₂ O ₅ mg. %	0,1 N		
	pH	P ₂ O ₅ mg. %	pH	P ₂ O ₅ mg. %	pH	P ₂ O ₅ mg. %	pH	P ₂ O ₅ mg. %					
Tipo calizo													
C IV	6,2	1,7	6,0	2,9	5,3	3,4	3,5	5,5	7,2	0,9	11,9	5,5	6,76
C V	6,1	3,5	5,4	5,4	4,6	8,2	3,5	11,1	6,8	2,2	11,8	10,8	6,14
C VII	7,2	3,0	6,9	4,2	6,7	6,0	6,4	9,7	7,4	2,3	11,9	1,9	7,50
C IX	7,1	2,2	6,7	3,2	6,5	4,3	5,8	7,9	7,4	1,7	12,0	7,7	7,16
Tipo intermedio													
C I	6,8	5,1	6,3	8,9	6,3	14,8	6,2	24,7	7,0	3,1	11,1	27,6	6,50
C VII	6,4	4,8	6,0	7,7	5,7	10,3	5,6	17,8	6,8	3,6	11,9	15,8	6,47
C XII	6,0	3,4	5,7	4,9	5,3	7,1	4,6	14,9	6,4	2,6	11,7	27,2	5,94
Tipo caolinitico I													
C II	5,4	3,3	4,8	4,8	3,8	6,5	2,7	9,7	6,2	1,8	11,9	33,2	5,32
C III	6,4	3,4	5,7	5,5	4,9	7,3	3,7	10,9	6,7	2,6	12,0	46,0	5,58
C XI	5,7	2,5	5,4	3,8	4,5	6,7	3,9	11,8	6,3	1,8	11,7	61,9	5,37
C XIII	6,3	2,4	6,1	3,2	5,9	3,8	5,5	6,7	6,7	1,6	11,9	48,1	6,10
C XIV	5,6	1,3	5,0	1,6	4,4	2,2	3,4	3,4	6,4	1,0	11,8	53,5	4,82
C XV	5,8	2,3	5,4	3,1	4,2	6,4	3,7	9,3	6,2	2,0	12,0	82,4	5,19
Nv I	6,1	0,0	5,6	0,0	5,4	0,0	3,2	1,5	6,7	0,0	11,7	37,0	5,32
Nv VII	6,2	0,4	5,1	0,4	4,2	0,5	3,3	0,8	6,7	0,4	12,0	28,5	5,49
Tipo caolinitico II													
C VIII	—	—	4,5	0,0	—	—	2,4	2,0	6,3	0,0	11,9	5,8	4,50
Nv III	5,5	0,0	4,3	0,0	3,5	0,0	3,0	1,0	6,2	0,0	11,9	9,8	4,42
Nv IV	3,9	1,3	2,9	1,3	2,5	1,3	2,2	1,8	6,8	0,8	12,0	4,6	5,45
Nv V	6,0	0,0	4,9	0,0	3,7	0,0	2,7	0,0	6,3	0,0	11,9	16,1	4,62
Nv VIII	6,4	0,8	6,0	0,8	5,4	1,0	4,3	1,3	7,1	0,8	12,2	10,8	5,91

En los de tipo intermedio ambas formas de fosfatos se encuentran en proporciones similares, no existiendo predominio visible de ninguna de ellas. El pH está comprendido entre 5,9 y 6,5.



GRÁFICA 2.
Tipo calizo.

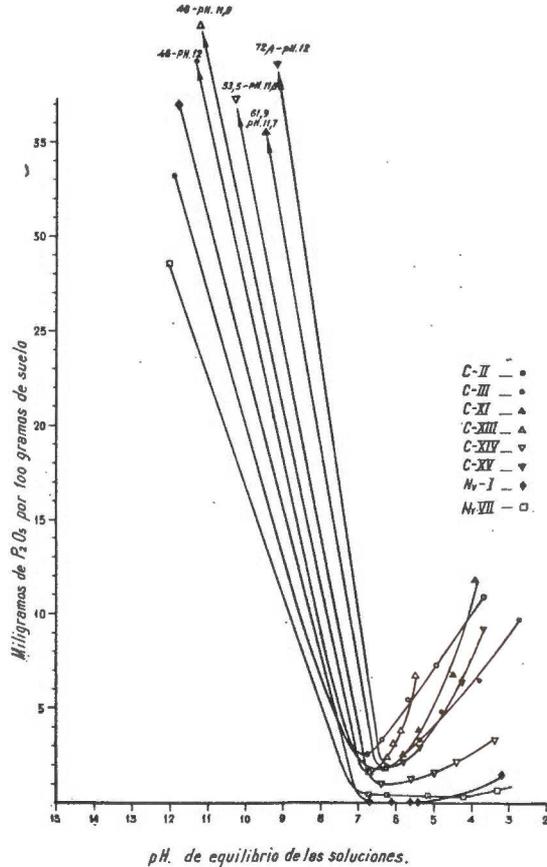
El resto de las muestras, que son mayoría, pertenecen al tipo llamado caolinítico, en los que las formas solubles en álcali adquie-



GRÁFICA 3.
Tipo intermedio.

ren un papel dominante. Todos ellos tiene un pH por debajo de 6. Este pH 6 parece ser un pH crítico en estos suelos; a pH inferior-

res a éste son las formas adsorbidas y los fosfatos de hierro y alúmina los que tienden a dominar; por encima de él la tendencia es la opuesta; las formas solubles en ácido adquieren preponderancia, hasta que a pH superiores a 7 pasan a ser francamente dominantes.

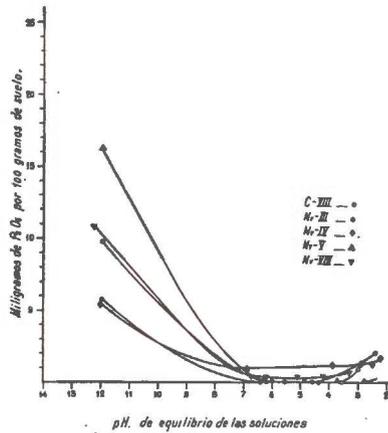


GRÁFICA 4.
Tipo caolínico, núm. 1.

Esta investigación previa sobre la distribución de los fosfatos presentes por el método utilizado, proporciona una excelente información sobre las formas de fósforo inorgánico y su solubilidad relativa, lo cual facilita la elección de métodos adecuados para su fraccionamiento y valoración.

EXTRACCIÓN, FRACCIONAMIENTO Y VALORACIÓN
DEL FÓSFORO INORGÁNICO.

En las determinaciones efectuadas anteriormente, se ha puesto de manifiesto que las formas inorgánicas que no son solubilizadas por el reactivo ácido se encuentran en todos ellos, y que en la mayoría constituyen la fracción dominante. Por tanto, un fraccionamiento y valoración más cuantitativa que la realizada por los reactivos anteriores, es necesaria.



GRÁFICA 5.

Tipo caolínico, núm. 2.

Las fracciones separadas han sido las dadas en los «Antecedentes».

M É T O D O .

Tratamiento previo de las muestras de suelo.—En los estudios de fraccionamiento del fósforo del suelo, se ha tratado repetidas veces de la conveniencia de separar previamente las bases presentes, especialmente el calcio y de llevar el suelo a un pH determinado, el cual es generalmente el de la solución extractora usada.

La razón de este tratamiento previo, es que la presencia de calcio de cambio incrementa la fijación del fosfato desplazado como anión de cambio.

La conveniencia de este tratamiento previo ha sido discutida. Las principales objeciones son las de que cuando los suelos, me-

diante este tratamiento previo son llevados a pH inferiores al suyo propio, pueden quedar como residuos sales libres de hierro y alúmina, las cuales pueden fijar parte del fósforo liberado, mediante cambio aniónico (12). Del mismo modo, se ha sugerido (6) que en suelos con alta capacidad de cambio aniónico, es posible que parte de este fósforo solubilizado mediante el tratamiento previo, sea fijado como anión de cambio. Dada la falta de unidad de criterio sobre la conveniencia de este tratamiento, nosotros hemos optado por efectuarlo dado el que dicha operación es realizada en la mayoría de los estudios de fraccionamiento.

El procedimiento seguido ha sido lavar el suelo con solución N. de cloruro amónico a pH 7 en proporción 1:50.

Soluciones extractoras.—La extracción y separación de las distintas fracciones de fósforo inorgánico ha sido realizada de acuerdo con los métodos propuestos por Bray y Kurtz (2). La valoración del fósforo extraído se ha realizado según el método de los autores, antes citados, con un colorímetro «Etko», modificado en su parte eléctrica como ya hemos dicho anteriormente.

RESULTADOS Y CONSIDERACIONES GENERALES.

Los resultados obtenidos con los métodos utilizados sobre las veinte muestras estudiadas son los dados en la Tabla II.

TABLA II

MUESTRA	Fósforo total adsorbido P ₂ O ₅ %	Fósforo total sol. en ácido P ₂ O ₅ %	Suma	Fósforo total P ₂ O ₅ %	Fósforo inerte P ₂ O ₅ %
Tipo calizo					
C IV	0,139	0,544	0,683	1,070	0,387
C V	0,417	0,993	1,410	—	—
C VII	0,387	0,813	1,200	—	—
C IX	0,349	1,192	1,541	1,575	0,034
Tipo intermedio					
C I	1,101	3,299	4,400	4,425	0,025
C VI	0,984	1,781	2,765	2,810	0,045
C XII	0,871	1,494	2,365	—	—
Tipo caolinítico I					
C II	0,411	0,789	1,200	—	—
C III	0,642	1,113	1,755	1,912	0,157
C IX	0,814	0,988	1,802	—	—
C XIII	2,056	1,459	3,515	4,230	0,715

T A B L A II

(continuación)

MUESTRA	Fósforo total adsorbido P ₂ O ₅ %	Fósforo total sol. en ácido P ₂ O ₅ %	Suma	Fósforo total P ₂ O ₅ %	Fósforo inerte P ₂ O ₅ %
Tipo caolinitico I					
C XIV	0,856	0,462	1,318	—	—
C XV	0,982	1,385	2,377	—	—
Nv I	0,452	0,420	0,872	1,176	0,304
Nv VII	0,864	0,741	1,605	—	—
Tipo caolinitico II					
C VIII	0,119	0,493	0,612	—	—
Nv III	0,202	0,957	1,159	1,940	0,781
Nv IV	0,096	0,220	0,316	—	—
Nv V	0,390	0,589	0,979	—	—
Nv VIII	0,424	1,241	1,665	2,314	0,649

En la exposición de los resultados se ha mantenido la agrupación de suelos con características semejantes respecto a la distribución del fosfato, proporcionada mediante la investigación previa.

Las fracciones del fósforo inorgánico extraídas han sido numeradas para facilitar la discusión. La fracción 1 corresponde al fósforo adsorbido; la 2 al soluble en ácido y la 3 a las formas inertes. La suma de todas ellas es lo que hemos denominado fósforo total.

De los resultados obtenidos destacan las altas cifras que en la mayor parte de los suelos alcanza el fósforo total. Si tomamos como cifra media del existente en suelos minerales españoles, la clásica del 1 por 100 de P₂O₅, vemos que la mayor parte de ellos la supera y que muchos la duplican o triplican. Esta extensa acumulación de fósforo de la mayoría de estos suelos, creemos que es el resultado de amplias aplicaciones de fertilizante fosfatado soluble, puesto que son explotados intensivamente en regadío y con alternativas de cosechas en las que se acostumbra a utilizar dicho fertilizante de manera intensa. Otro dato que nos inclina a creer lo expuesto es la escasa diferencia entre la suma de las fracciones adsorbida y solubles en ácido con el total; en una palabra, las bajas cifras para el fósforo inerte.

Aun cuando una comparación entre las cantidades obtenidas por el método de investigación previa y por el más cuantitativo expuesto últimamente no es posible, debido a que los reactivos usados son de distinta naturaleza y concentración, sí creemos que pueden compararse en cuanto a que ambos indican la misma agrupación en los

suelos para su clasificación y por la tendencia e importancia relativa que cada grupo de formas tiene en los distintos grupos de suelos.

Si determinamos en cada suelo el porcentaje de las formas adsorbidas y solubles en ácido en función de la suma de ambas, vemos que la agrupación de suelos dados en la investigación previa es correcta. En la Tabla III se exponen los valores de este porcentaje y los valores medios para cada grupo de suelos.

TABLA III

MUESTRA	Porcentaje de fósforo adsorbido	Porcentaje de fósforo soluble en ácido
Tipo calizo		
C IV	20	79
C V	35	65
C VII	33	67
C IX	23	77
Cifra media	27	73
Tipo intermedio		
C I	25	75
C VI	35	65
C XII	37	63
Cifra media	32	68
Tipo caolínico I		
C II	34	66
C III	34	66
C XI	45	55
C XIII	58	42
C XIV	64	36
C XV	41	59
Nv I	52	48
Nv VII	54	46
Cifra media	47	53
Tipo caolínico II		
C VIII	37	63
Nv III	17	83
Nv IV	22	78
Nv V	39	61
Nv VIII	25	75
Cifra media	28	72

En los agrupados bajo la denominación de calizos, vemos que sólo una cuarta parte aproximadamente, se encuentra en forma adsorbida siendo la fracción dominante la soluble en ácido. Los fosfatos cálcicos de solubilidad y composición varia, son los dominantes. El pH de ellos, es superior a 6,1, estando comprendidos entre 6,14 y 7,5.

En los agrupados como de tipo intermedio, empieza a adquirir importancia el fijado en forma adsorbida; en la cifra media vemos que un tercio aproximadamente se halla en esta forma, rebasando esta cifra dos de los tres suelos analizados; la solubilidad de los fosfatos de calcio crece como puede observarse en las curvas correspondientes. Ello debe atribuirse a que precisamente en el intervalo de pH en que se hallan situados estos suelos (6-6,5) alcanzan el máximo de solubilidad estos compuestos fosfatados.

En los caoliniticos del primer grupo adquiere su máxima importancia el fósforo fijado en forma adsorbida. El valor medio de dicha fracción representa aproximadamente el 50 por 100 de la suma de ambas, siendo este porcentaje sobrepasado en muchos de ellos, en los que constituye la fracción dominante.

Estos valores cercanos al 60 por 100 para el fósforo adsorbido, están considerados como valores límites de los encontrados en suelos y pueden tomarse como cifras extraordinarias. Dicho grupo de suelos tiene un pH comprendido entre 5 y 6, por lo que se confirma lo observado por otros investigadores de que el pH 6 es un pH crítico en determinar la tendencia de fijación del fósforo inorgánico en los suelos, de una u otra forma. Esto ha sido interpretado por Dean y Rubins (6) como debido a la tendencia natural del suelo en el proceso de formación a convertir los materiales presentes en formas estables, bajo las condiciones propias del suelo.

En este grupo se encuentran, aunque en pequeñas cantidades relativas, como demuestran las curvas correspondientes, fosfatos de regular solubilidad en ácido.

Al descender el pH (suelos caoliniticos II) empiezan a descender nuevamente las cifras para el fósforo adsorbido y a dominar las formas solubles en ácido. La cifra media para el fósforo adsorbido en los de este tipo es próximamente igual a la obtenida en los de tipo calizo; sin embargo, la clase de fosfatos presentes es totalmente distinta, como puede observarse por comparación en el trazado de las curvas correspondientes. En estos puede decirse que han desaparecido prácticamente los fosfatos fácilmente solubles de los me-

tales alcalinotérreos. Los extraídos por la solución ácida son fosfatos de hierro y alúmina difícilmente solubles, que son los que se encuentran normalmente en suelos con acidez elevada. Asimismo, en este grupo se encuentran las cifras absolutas más bajas para ambas formas de fosfatos, y las mayores diferencias entre la suma de ambas formas y el total, o sea, una mayor abundancia de formas inertes.

CONCLUSIONES

Del fraccionamiento de las distintas formas del fósforo, efectuadas sobre suelos sílico-húmicos de Cáceres y Avila, con objeto de conocer su distribución y cuantía, se llega a las siguientes conclusiones:

1.^a En todas las muestras estudiadas, ambas formas generales de fosfatos (adsorbido y soluble en ácido) se encuentran presentes, aunque en proporciones variables.

2.^a En los agrupados bajo la denominación de calizos, los fosfatos solubles en ácido constituyen la fracción dominante. El pH de estos suelos está comprendido entre 6,14 y 7,5. Dichos suelos están formados sobre rocas estratificadas cristalinas débilmente básicas.

3.^a En los agrupados como intermedios, situados en la zona de transición del estrato cristalino y los formados sobre rocas hipogénicas, aunque el fósforo soluble en ácido sigue siendo la fracción dominante, el fijado en forma adsorbida empieza a adquirir importancia. Las cifras medias encontradas son un 68 por 100 y un 32 por 100, respectivamente. El pH está comprendido entre 6 y 6,5.

4.^a Los formados sobre rocas hipogénicas ácidas comprenden el grupo más numeroso de los estudiados y han sido divididos en dos subgrupos; en los del 1.^o, la cifra media para el fósforo adsorbido alcanza el 47 por 100, y para el soluble en ácido, el 53 por 100, rebasando la mitad aproximadamente el 50 por 100 para el fósforo adsorbido. El pH de estos suelos oscila entre 5 y 6.

En los del segundo subgrupo con pH inferior a 5, vuelven a dominar las formas solubles en ácido; un 28 y un 72 por 100, respectivamente, son las cifras medias. Los fosfatos dominantes parecen ser los de hierro y alúmina, difícilmente solubles y escasamente asimilables.

5.^a Las cifras de fósforo total encontradas son en general altas,

rebasando ampliamente la casi totalidad de las muestras la clásica del 1 por 1.000 de P_2O_5 .

6.^a Se comprueba que es el pH y la naturaleza de los compuestos presentes los que condicionan el ciclo del fosfato inorgánico en los suelos.

7.^a Asimismo se comprueba que el pH 6 es un pH crítico en determinar la tendencia del fósforo inorgánico a fijarse en una u otra forma.

8.^a Por último, se confirma lo expuesto en trabajos anteriores sobre estos suelos, de que es la roca de origen la que ejerce la máxima influencia sobre sus características y la que condiciona las propiedades y distribución de los compuestos presentes (en este caso, los fosfatos). Pertenecen, por tanto, al tipo de los llamados por Glinka endodinamorfos.

*Instituto de Biología del Tabaco, Sevilla
Sección de Edafología*

RESUMEN

En el presente trabajo se ha verificado un estudio sobre la naturaleza y distribución de las formas de fósforo inorgánico presentes en un grupo de veinte suelos típicos dedicados al cultivo del tabaco en las provincias de Cáceres y Avila, los cuales han sido clasificados como pertenecientes al tipo silico-húmico, poco estudiado y defectuosamente conocido.

Este estudio de fraccionamiento lo consideramos básico para el desarrollo ulterior de otros estudios de correlación, entre dichas fracciones y el nivel de fertilidad de los suelos respecto a este elemento.

Una visión general de la distribución de las formas presentes ha sido proporcionada por la aplicación del método de Burd. y un fraccionamiento más cuantitativo de dichas formas, ha sido realizado siguiendo la metodología propuesta por Bray y Kurtz.

Una serie de conclusiones han sido deducidas de los resultados obtenidos.

SUMMARY

In the present paper we deal with a study carried out on the nature and distribution of the forms of inorganic phosphorus present in a group of twenty typical soils dedicated to the culture of tobacco in the provinces of Cáceres and Avila, which have been classified as belonging to the little studied and imperfectly known silico-humic type.

We regard this fractionation as a study essential preliminary for the development of subsequent studies of the correlation between these fractions and the fertility level of the soils with regard to this element.

A general view of the distribution of the forms present has been obtained by applying Burd's method, and a more quantitative fractionation of these forms was carried out following the methods proposed by Bray and Kurtz.

From the results obtained a series of conclusions has been deduced.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALBAREDA, JOSÉ M.^a, y ASENSIO, I. 1945. *Anal. Edaf.*, tomo IV, vol. 1.
- (2) BRAY, R. H., y KURTZ, L. T. 1945. *Soil. Sci.* 59: 39-45.
- (3) BURD, J. S. 1948. *Soil. Sci.* 65: 227-47.
- (4) DEAN, L. A. 1937. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 2: 223-27.
- (5) ——— 1938. *Jour. Agr. Sci.* 28: 234-44.
- (6) ——— y RUBINS, E. J. 1947. *Soil. Sci.* 59: 399-406.
- (7) ——— 1947. *Soil. Sci.* 63: 377-87.
- (8) DICKMAN, S. R. y BRAY, R. H. 1941. *Soil Sci.* 52: 263-73.
- (9) FISHER, R. y THOMAS, R. P. 1935. *Jour. Amer. Soc. Agr.* 27: 863-73.
- (10) KURTZ, L. T., DE TURK, E. y BRAY, R. H. 1946. *Soil Sci.* 61: 111-24.
- (11) MATTSON, S. 1931. *Soil. Sci.* 31: 311-31.
- (12) MEHLICH, A. 1948. *Soil Sci.* 66 (6): 429-46.
- (13) MURPHY, H. F. 1939. *Hilgardia.* 12: 343-82.
- (14) PIERRE, W. H. 1948. *Jour. Amer. Soc. Agr.* 40, I: 1-14.
- (15) RUBINS, E. J., y DEAN, L. A. 1947. *Soil. Sci.* 63: 389-97.
- (16) RUSSELL, E. J., y PRESSCOTT, J. A. 1916. *Jour. Amer. Soc. Agr.* 27: 596-97.
- (17) SEQUEIROS BORES, J. M.^a. 1946. *Bol. Inst. Inv. Agr.* 15.
- (18) ——— 1948. *Bol. Inst. Inv. Agr.* 19.
- (19) ——— 1949. *Bol. Inst. Inv. Agr.* 21.
- (20) TRUOG, E y DEAN, L. A. 1935. *Trans. III Inter. Cong. of Soil Sci.* 1: 106-8

ESTUDIOS SOBRE LA FERMENTACION DEL ESPARTO

I. — FLORA AEROBIA DE LA FERMENTACION EN EL ENRIADO EXPERIMENTAL

por

VICENTE CALLAO y JOSE VIGARAY

Hasta el momento actual, se han estudiado muy deficientemente los fenómenos que ocurren en el enriamiento del esparto, cuyo procedimiento industrial, en nuestro país, es fundamentalmente el mismo que se usaba en el pasado siglo, sin que haya sido mejorado ni modificado, como podemos observar en la somera descripción que da la obra de Higiene de Monlau (4).

Así como los procesos de enriamiento del cáñamo y del lino han sido objeto de diversos trabajos experimentales, resumidos en las obras de Thaysen y Bunker (5), Fuller y Norman (2) y Greenhill y Couchman (3), han sido muy escasas las investigaciones que se han llevado a cabo en el esparto, seguramente porque el área de su industria reside en los países de la cuenca mediterránea y por ello no ha interesado a los investigadores de los países externos a la misma y que precisamente son los que van a la cabeza del progreso industrial.

Nos hemos propuesto estudiar los fenómenos bacteriológicos y bioquímicos que ocurren en el enriado de esta fibra, y en esta primera comunicación exponemos los resultados conseguidos experimentalmente en el Laboratorio, en relación con la flora aerobia y facultativa que interviene en el proceso.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esparto y su preparación.—El esparto utilizado procede de las provincias de Almería y Málaga. La operación del enriado se ha llevado a cabo cortando las fibras vegetales en trozos de unos cinco

centímetros, con los que se preparan hacecillos de unos quince gramos de peso, aproximadamente, los cuales se depositan apilados hasta llenar un cristalizador de unos ocho litros, colocando piedras en su parte superior, para conseguir una inmersión perfecta, utilizando agua de la ciudad de Granada y temperaturas de entre 15° y 24° que eran las del ambiente en las fechas del experimento. Diariamente se extraían 250 ml. de agua que se reponían en la misma cantidad con agua fresca del grifo, aumentada con la cifra requerida para compensar las pérdidas ocasionadas por la evaporación.

Las tomas del material se realizaron con los métodos ordinarios para efecuar el aislamiento en placa de los microbios aerobios y anaerobios facultativos.

Medios de cultivo.—Se han usado dos tipos diferentes: Medios de aislamiento y medios de identificación y conservación. Como medio de aislamiento se ha ideado uno de agar-esparto preparado con el 3 por 100 de Agar-agar y una concentración salina del 5 por 1.000. Para aislamiento y enriquecimiento de facultativos, se usó el líquido de esparto a la misma concentración salina del anterior, pero sin agar.

Como medios de conservación se han usado los ordinarios y el agar-esparto y para la identificación se han usado las técnicas bacteriológicas comunes.

RESULTADOS

Se han realizado cuatro experiencias en total con espartos diferentes de las provincias antedichas con resultados aproximadamente iguales en las cuatro experiencias y un tiempo total de 23 días.

A las 24 horas apareció coloreada de amarillo verdoso y con un aspecto sucio el agua del macerado, la cual desprendía olor desagradable y bastante penetrante que persistió intensamente durante cuatro o cinco días, desapareciendo poco después para no presentarse más a lo largo del proceso. A las 48 horas, se observó la aparición de una película fina y muy frágil, constituida por gérmenes bacterianos, con predominio de bacilos Gram negativos y un número escaso de gérmenes Gram positivos. Tres días después se formaron sobre este velo unos islotes de otra película más gruesa, densa, arrugada y de color negruzco que invadieron, por fin, la superficie total. Al mismo tiempo, las formas Gram negativas eran desplazadas por los

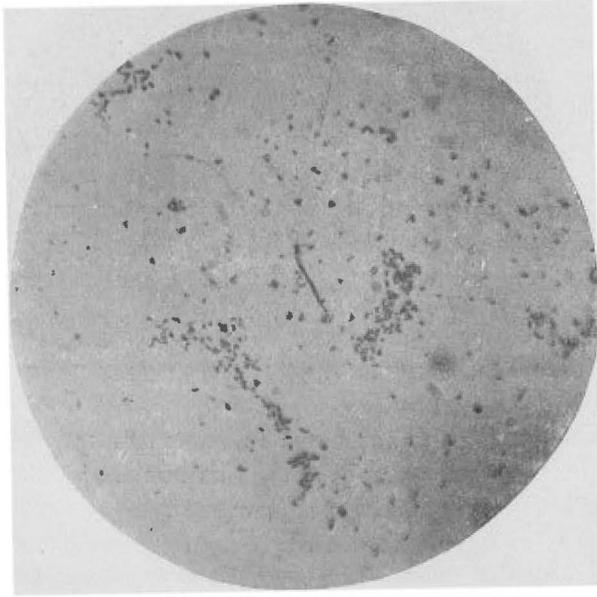


FIG. 1.

Pseudomonas fragi. Cultivo de veinticuatro horas sobre agar-esparto a 28°.

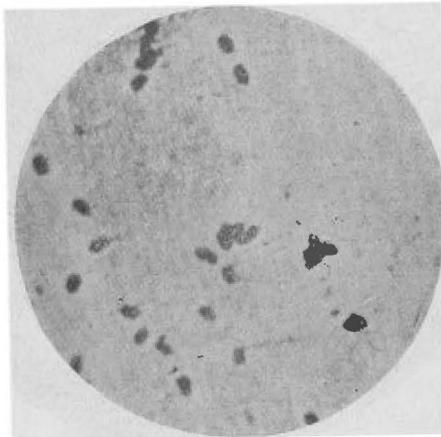


FIG. 2.

Pseudomonas fragi. Tinción de flagelos.

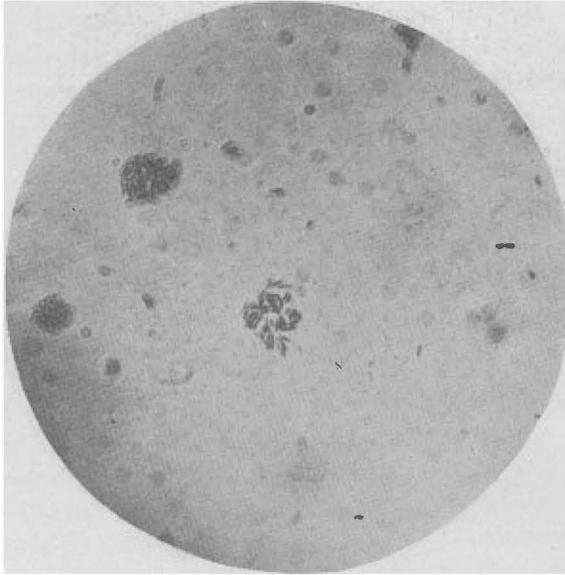


FIG. 3.

Pseudomonas sp. Cultivo de veinticuatro horas sobre agar-esparto a 28°.

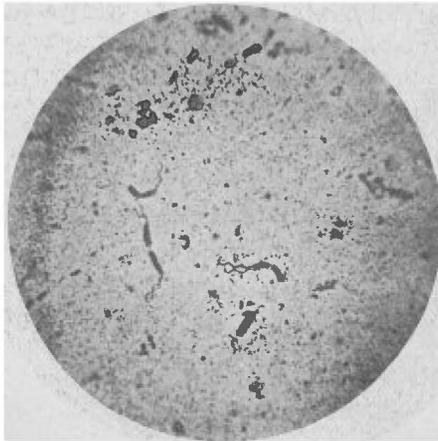


FIG. 4.

Pseudomonas sp. Tinción de flagelos.

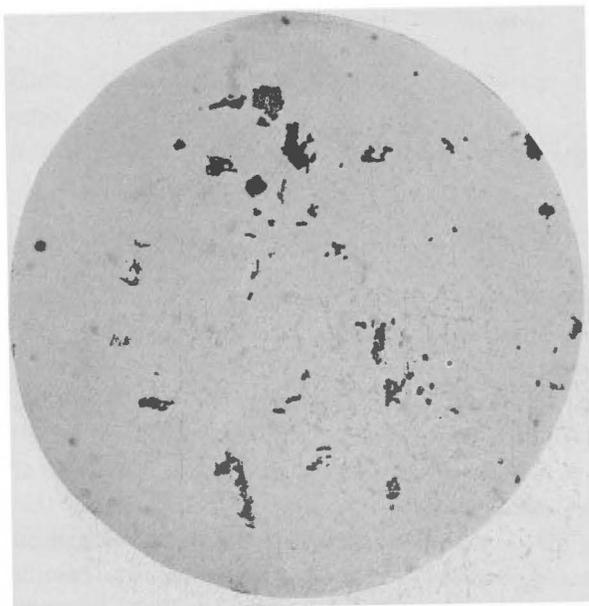


FIG. 5.

Bacterium lactericum. Cultivo de veinticuatro horas en agar-esparto a 28°

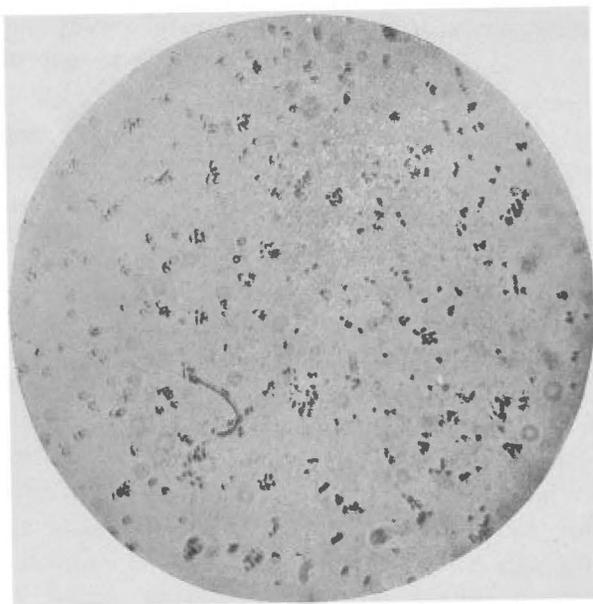


FIG. 6.

Cultivo de *Proteus vulgaris* en agar-esparto, veinticuatro horas a 28°.



FIG. 7.

Proteus vulgaris. Tinción de flagelos.

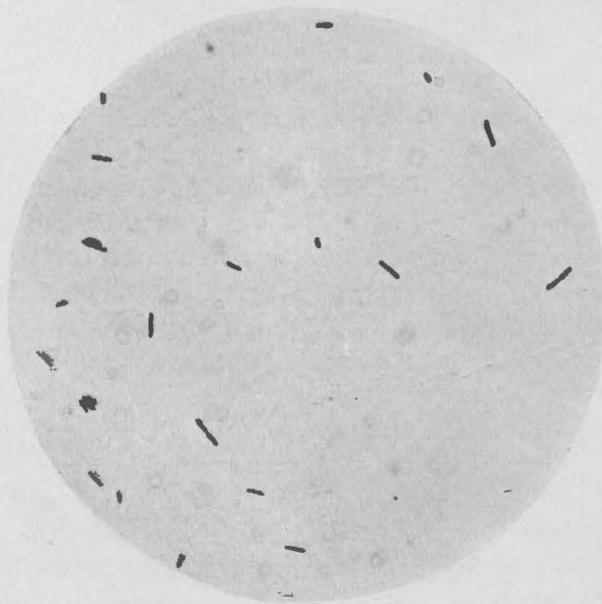


FIG. 8.

Bacillus subtilis. Cultivo de veinticuatro horas en agar-esparto a 28°.

gérmenes Gram positivos. Algunos protozoos hicieron su aparición en este tiempo.

Las siembras realizadas pusieron de manifiesto los siguientes gérmenes:

Germen n.º 1.—Bacilo Gram negativo (fig. 1). Que en Agar-esparto da colonias transparentes, brillantes, lisas y ligeramente convexas, de unos 2 mm. de diámetro aproximado a las 48 horas. Es móvil, con un solo flagelo polar (fig. 2), cultiva bien en los medios ordinarios, licúa la gelatina en forma de saco, fermenta la glucosa y la maltosa con desprendimiento de ácidos y no la lactosa y la sacarosa. No ataca los nitratos ni forma indol. La descripción es casi idéntica a la que se da en el Bergey (1) para el *Pseudomonas fragil.*

Germen n.º 2.—(Figs. 3 y 4) Bacilos Gram negativos, móviles por medio de flagelos lofotricos en número de 2 a 4. En Agar-esparto forma colonias opacas y cremosas con el borde ligeramente ondulado y pigmento amarillo-verdoso que difunde por el medio de cultivo. En medio líquido forma velo. Licúa la gelatina y fermenta con ácidos la glucosa, lactosa y sacarosa y no la maltosa. Produce bastante amoníaco. Por sus características morfológicas y de cultivo se parece algo al descrito en el Manual de Bergey con el nombre de *Pseudomonas fairmountensis*, pero no encuadra completamente con la descripción que da allí para tal germen.

Germen n.º 3.—Coco Gram positivo, primero ligeramente móvil, y luego inmóvil, que se desarrolla en agar-esparto, dando lugar a colonias pequeñas y opacas con una coloración amarillo-limón bastante pronunciada.

Por los caracteres de cultivo y bioquímicos se ha identificado con la especie *Micrococcus varians*.

Germen n.º 4.—Bacilo Gram, negativo, inmóvil, esbelto y alargado, que forma colonias pequeñas en agar-esparto. Crece en el caldo, enturbiando y formando sedimento ligero. En gelatina forma una colonia amarilla que en picadura se produce solamente en la superficie del medio. No fermenta la glucosa ni ningún otro azúcar probado, no forma indol, no reduce los nitratos y produce amoníaco. Se trata de una bacteria del género *Bacterium*, sin que al parecer haya sido descrita hasta el momento. Se parece algo a la que en el Manual de Bergey se confirma con el nombre de *Bacterium lucrosun*.

Germen n.º 5.—Bacilo Gram negativo (fig. 5), corto, que en agar-

esparto forma colonias redondeadas con cromogénesis rojas intensas. Por sus características morfológicas y bioquímicas se ha identificado como *Bacterium lactericeum*.

Germen n.º 6.—(Figs. 6 y 7) Bacilo Gram, negativo, aislado, polimorfo y con flagelos peritricos. Crece en agar-esparto, formando colonias transparentes. Sus características de cultivo y bioquímicas son las de la especie *Proteus vulgaris*.

Germen n.º 7.—Bacilo Gram, positivo (fig. 8), móvil, con flagelos peritricos y esporulados que crecen en agar-esparto, formando colonias opacas algo planas y rugosas. Ha sido identificado como *Bacillus subtilis*.

Germen n.º 8.—Bacilo Gram, negativo, relativamente largo y agrupado a manera de los *Corynebacterium*. En agar-esparto se desarrolla formando colonias transparentes y algo azuladas. No licúa la gelatina. En caldo enturbia y forma un velo fino. Fermenta la glucosa poco y tardíamente y no actúa en los otros azúcares probados. No forma indol. No actúa sobre los nitratos. Enquadramos este germen en el género *Bacterium*, aunque sin relación entre las especies descritas en el Manual de Bergey.

D I S C U S I Ó N

Anteriormente hemos descrito las especies aisladas en las aguas de macerado del esparto en nuestro Laboratorio, usando un medio especial a base de esta planta. Pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus* y *Proteus* y pueden considerarse como interventoras en un grado mayor o menor del proceso del enriamiento. En efecto, estos gérmenes son capaces de desarrollarse en un medio de cultivo que contenga esparto como único material orgánico utilizable, creciendo allí con formación de colonias diferenciables y desenvolviéndose después perfectamente durante un número indefinido de resiembras en este mismo medio. Los microbios que se desarrollan en el medio con esparto son capaces de subvenir a todas sus necesidades metabólicas, usando los constituyentes del vegetal, para tal fin, y ello quiere decir que son capaces de actuar sobre las sustancias que componen esta fibra sea cualquiera la forma en que allí se encuentren ya reunidos, ya aislados, es decir, sobre uno o varios de los elementos formados de la fibra que han de utilizar para el ejercicio de sus actividades vitales, descomponiéndolo

por la secreción de sus enzimas específicos de constitución o de adaptación.

Por estas razones consideramos no es aventurado suponer que los microbios aislados en el medio-esparto, ideado por nosotros, que contiene a este producto como única fuente nutritiva, han de intervenir de una manera efectiva en los procesos de enriamiento, porque del mismo modo que en aquel medio crecen bien, podrán desarrollarse también sobre la misma fibra sumergida, desintegrándola a medida que sean capaces de actuar sus sistemas enzimáticos, productores de las reacciones bioquímicas vitales de semejantes estirpes bacterianas.

Puede ser diferente el modo como actúa cada germen en la descomposición de la planta. En el esparto, como ocurre en cualquier otro vegetal, nos encontramos que sus tallos están formados por la reunión de distintas sustancias, a saber: Proteínas, gomas, celulosas, hemicelulosas, pentosanas, etc., que constituyen la composición de los elementos anatómicos dispuestos ordenadamente en la planta. El proceso del enriamiento consiste en la alteración de la armonía de estas sustancias, a fin de que, en definitiva, se separen los elementos textiles, los cuales están formados preferentemente por celulosas, de los demás que coexisten con ellos en los tallos de la fibra. Los distintos microbios que intervienen en el proceso han de realizar su actuación preferentemente sobre cualquiera de estos componentes o sobre todos ellos, sin que posean la propiedad de atacar la celulosa porque entonces alterarían el elemento propiamente textil de la fibra.

Si estudiamos las propiedades bacteriológicas de las especies aisladas en estas experiencias, podremos imaginar que los procesos de fermentación del esparto ocurren en cierto modo de diferente manera a lo que sucede en los fenómenos del enriado de otras fibras textiles, como el cáñamo y el lino. Desde los primeros estudios que se hicieron para esclarecer el mecanismo de la fermentación de estas fibras, se conoció que toman una parte primordial los microbios que actúan sobre los glúcidos, es decir, la flora sacarolítica.

En la maceración del esparto, las cosas no ocurren así, y podemos afirmar, en relación con la flora aerobia, que en este trabajo consideramos que las estirpes aisladas, si dejamos aparte el *Proteus*, poseen un poder sacarolítico escaso. Si además consideramos el hecho de que los análisis químicos efectuados por algunos autores, con

objeto de estudiar comparativamente la composición de la fibra esparto antes y después del enriado, no demuestran diferencias notables en el contenido en pentosanas, y teniendo en cuenta que si a estas pentosanas, y en especial hacia las pectinas, se dirige el poder fermentativo de la flora que actúa sobre el cáñamo o lino, por lo que los productos finales del proceso en estas especies vegetales son eminentemente pobres en pentosanas, hemos de concluir, evidentemente, que la flora de la maceración del esparto no actúa de la misma manera. Nuestros hallazgos microbiológicos apoyan esta conclusión, dado el hecho del escaso poder fermentativo sobre los azúcares que tienen las estirpes aisladas.

CONCLUSIONES Y RESUMEN

En un estudio experimental realizado en el Laboratorio se han aislado gérmenes aerobios que parecen tener acción efectiva en la fermentación del esparto, porque son capaces de desarrollarse en un medio de cultivo que contenga esparto como única fuente nutritiva.

Estas bacterias pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus* y *Proteus* de la sistemática de Bergey.

La flora aerobia que interviene en el enriamiento del esparto, en las condiciones experimentales de este trabajo, posee escasas propiedades sacarolíticas.

Se discuten ampliamente los aspectos de su actuación, concluyendo que hay suficientes elementos de juicio para considerar que la fermentación del esparto transcurre con un mecanismo diferente al de las otras fibras textiles estudiadas hasta el presente.

INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL.
Sección de Microbiología de Gramada.

SUMMARY

In an experimental study, carried out in the laboratory, aerobic germs were separated which seem to have an effective action on the fermentation of esparto-grass because they are able to develop in a culture medium that contains esparto-grass as the only source of nutrition.

These bacteria belong to the genus *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus* and *Proteus* of Bergey's classification.

The aerobic flora that interferes in the retting of esparto grass in the experimental conditions of this study, possesses scarce saccharolytic properties.

Aspects of their action are discussed and it is concluded that there exist sufficient reasons to suppose that the fermentation of esparto-grass takes place by a process different to that of other textile fibres hitherto studied.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BERGEY, 1948. Manual of Determinative Bacteriology. Baltimore.
- (2) FULLER y NORMAN, A. C., 1946. The retting of Hemp Ames.
- (3) GREENHILL, W. L. y COUCHMAN, J. F. 1947. The Water retting of Flax. Melbourne.
- (4) MONLAU, P. F. 1847. Higiene Pública. II, 530. Barcelona.
- (5) THAYSEN, A. C. y BUNKER, H. J. 1927. Microbiology of Cellulose, Hemicellulose, Pectine and Gums. London.

CIVILIZACIONES Y SUELOS (*)

por

W. T. H. WILLIAMSON (**)

En primer lugar, me gustaría indicar que no puedo aspirar a hablar con autoridad alguna sobre este tema. Un interés «amateur» por la historia antigua y arqueología me ha llevado a gastar parte de mis ocios en la lectura de libros sobre estos asuntos. No puedo decir, sin embargo, que su lectura haya sido muy extensa o exhaustiva, pero en la bibliografía estudiada por mí, me ha extrañado la falta de atención sobre el suelo como factor determinante de la civilización desarrollada en una región determinada. Mi reciente trato con arqueólogos dedicados a excavaciones me ha permitido ver que en relación con este trabajo no se ha prestado suficiente atención a los modernos adelantos de la Ciencia del suelo. He tenido la oportunidad de colaborar en tal trabajo en parte muy pequeña, y esta experiencia, aún limitada, me ha convencido de que tal colaboración sería mutuamente beneficiosa.

Los edafólogos han prestado también muy poca atención hasta ahora a este aspecto de su tema.

Si debo de tratar de los suelos y las civilizaciones, he de limitarme a un concepto materialista de la palabra y referirme a su origen del latín «civis», la ciudad. Las civilizaciones significarán, por consiguiente, aquellas organizaciones de las sociedades humanas

(*) Conferencia pronunciada en el INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA Y FISILOGÍA VEGETAL, Madrid 30 de abril de 1951.

(**) Jefe del Departamento de Ciencia del Suelo de la Universidad de Aberdeen (Escocia)

que aparecieron por vez primera en la época que los arqueólogos llaman «la revolución urbana», y en la que la producción de alimentos alcanzó la suficiente importancia para que existiera un excedente capaz de soportar a las clases sociales no agricultoras. Por esta causa las clases no labradoras pudieron dedicarse a las artes y los oficios, al comercio exterior, y aspirar a conocimientos superiores.

Se acepta generalmente que las primeras civilizaciones de este tipo se desarrollaron sobre suelos aluviales: en Egipto, en el valle y delta del Nilo; en Mesopotamia (o Irak), en las llanuras ribereñas del Tigris y del Eufrates; en la India, en la cuenca del Indus; y en la China. El hecho común a todos estos casos es que siendo regiones áridas en su mayor parte, la agricultura dependía exclusivamente del riego natural o artificial.

Para comprender completamente la aparición de estas civilizaciones debemos retroceder a los orígenes de la agricultura que datan de la revolución neolítica. Por el cultivo de las plantas y la domesticación de los animales, el hombre se hizo dueño de su alimentación. Ya no dependía enteramente de la búsqueda de plantas o de la caza de animales. El alimento no sólo estaba asegurado, sino muy aumentado en cantidad, dando por resultado el rápido aumento del número de individuos de la especie *homo sapiens*. Sin embargo, pronto o tarde, en la mayor parte de los sitios se encontrarían con la dificultad del agotamiento del suelo. Podría ser superada pasando a tierras nuevas con la bien conocida práctica del desplazamiento en el cultivo. Tal práctica, sin embargo, no conduce al desarrollo de comunidades fijas, que eran las precursoras necesarias a la revolución urbana.

Debemos, por lo tanto, considerar lugares donde las condiciones favorecieran tal desarrollo. Cuando nos fijamos en el estado particular del progreso material alcanzado en aquel tiempo, es precisamente, sobre los suelos aluviales de las regiones mencionadas, donde encontramos totalmente realizadas estas condiciones.

Me limitaré a la descripción de una región de éstas solamente, de la cual tengo un conocimiento directo, a saber, Egipto. Allí las condiciones no correspondían en conjunto a las de las otras regiones, pero la marcha general del desarrollo era en todo semejante, aunque los detalles de los sistemas económicos, políticos y religiosos resultantes, variaban ampliamente. Sin embargo, mucho de lo

que pudiera decirse sobre la relación del suelo con el tipo de civilización finalmente alcanzado en Egipto, será aplicable también a los otros casos.

El suelo del valle del Nilo es aluvial, profundo y de fina textura, conteniendo generalmente más del 80 por 100 de limo y arcilla. Tiene una elevada capacidad de cambio—55 miliequivalentes por cada 100 gramos—, siendo los cationes cambiables el calcio y el magnesio principalmente, además de una cantidad considerable de potasio. Posee también una buena proporción de fósforo.

Su estructura es tal que con un cierto contenido de humedad puede cultivarse fácilmente. En otras palabras, se trata de un suelo capaz de ser labrado con las herramientas de piedra o madera más simples y de resistir un período considerable de cultivo ininterrumpido sin agotarse. Un factor adicional es el enorme desarrollo radicular alcanzado por las plantas en este suelo, aumentando así gradualmente el espacio en el cual pueden tomar agua y sustancias nutritivas. Por ejemplo, mis colegas botánicos de Egipto, mostraron que en el caso del trigo, cuando parte aérea de la planta había alcanzado una altura de cinco centímetros solamente, el sistema radicular se extendía hasta una profundidad de 70 centímetros.

Las condiciones serían, por lo tanto, admirablemente propicias para el establecimiento de las colonias permanentes. Es posible que en tiempo de las primeras estaciones neolíticas el clima no fuese árido, como se volvió después y aun es hoy, y que las cosechas se dieran donde en un principio se desarrollaron con las lluvias.

En aquel tiempo, el valle del Nilo habría consistido en una serie de pantanos ocupados por junglas de *papyrus* y habitados por aves silvestres y otra caza, e incluso por animales salvajes y dañinos, tales como hipopótamos.

Todos los años el río se desbordaba y el agua se extendía sobre la tierra del valle, excepto las partes más altas próximas a las escarpadas pendientes que bordean el desierto. En estos lugares no alcanzados por las inundaciones se encuentran señales evidentes de las primeras estaciones. Las aguas inundantes se retiran en un período del año convenientemente fresco para la siembra de las cosechas de cereales.

Es posible, por lo tanto, sembrar las semillas en el suelo húmedo y recoger una cosecha en la primavera siguiente. Esto puede haber sido hecho al mismo tiempo que el cultivo, basado en las llu-

vias o sólo después de que el clima se hizo árido. De todos modos, esta práctica, cualquiera que fuese su origen, parece que sugirió la idea de controlar al río. Esto provocó el avenamiento de los pantanos, eliminando sus molestos habitantes y encauzando al río entre riberas artificialmente elevadas. Después debía nivelarse el terreno, y cuando el río crecía, en la época de las avenidas, podía inundarse la campiña por el sencillo método de abrir un agujero en el muro de contención, permitiendo la salida de la cantidad conveniente de agua. Cuando el río descendía, el agua excedente en el campo se reintegraba al cauce. Después se allanaba el suelo húmedo y se sembraba sobre él. Cuando el nivel freático del suelo descendía, las raíces de las plantas le seguían en ese movimiento, obteniendo de este modo la humedad y los alimentos necesarios para llegar a la madurez en la primavera siguiente. Las tareas necesarias para regular el río de este modo requerían la cooperación de todos los miembros de una comunidad bien organizada. El resultado sería un gran aumento en el área del terreno cultivable y un crecimiento correspondiente en la población y en la prosperidad. Además, se habría eliminado por completo la posibilidad del agotamiento del suelo, porque en las partes de Egipto en donde todavía se usa este riego por inundación, el terreno lleva en cultivo miles de años—posiblemente de seis a ocho mil años—, sin dar signos aparentes de deterioro. A esto contribuyen tanto el suelo como el agua de inundación. La crecida fluvial tiene lugar durante las lluvias monzónicas en las montañas de Abisinia, provocando un aumento enorme en el caudal del Nilo Azul. El agua de este Nilo Azul es, desde el punto de vista químico, excelente para el riego, con un contenido relativamente alto de calcio y muy poco sodio o nada. Además, el agua lleva una gran cantidad de arena fina que se deposita sobre la superficie del suelo con un espesor de un milímetro anual; la composición de esta arena fina permite la reposición anual de calcio, potasio y fósforo, en cantidades mayores de las consumidas por cualquier cultivo. El suelo tiene una capacidad de retención de la humedad suficiente para evitar sea más rápido de lo conveniente el descenso del agua, para que las raíces puedan seguirle. Después de recoger las cosechas se produce una desecación intensa del suelo durante los cálidos meses del verano. Durante este período el suelo permanece sin cultivo. Se producen grandes grietas en la superficie y a los lados de éstas. Cristalizan todas las sales perjudiciales que puedan haberse formado. En la crecida próxima,

el agua se precipita al principio por esas grietas, arrastrando consigo las sales. A continuación se cierran las grietas y el agua atraviesa más lentamente el suelo. De este modo tiene lugar cada año un lavado total, seguido de una buena aireación, cuando desciende el nivel freático, impidiéndose de este modo la salinización. También el largo período sin cultivo permite el funcionamiento de diversos procesos de recuperación. Por ejemplo, el nitrógeno del suelo se hace asimilable, aunque no sabemos por completo como esto sucede. Probablemente hay fijación del nitrógeno, por un proceso u otro, porque prácticamente nada del nitrógeno es aportado por el limo depositado.

Por lo tanto, en la época neolítica se dieron aquí todas las condiciones necesarias en lo que se refiere al suelo y al suministro de agua para el establecimiento de comunidades sedentarias. Egipto fué afortunado también en cuanto al suministro de pedernal existente en el desierto contiguo y la posesión de un excelente camino para transportarlo al río Nilo. Ciertamente que no existía madera, pero podía producir alimentos en cantidad suficiente para adquirir ésta y otras mercancías que le faltaban. Hay pruebas de que desde épocas muy remotas, existía un comercio muy intenso con el exterior.

Los habitantes de los tiempos prehistóricos se concentraron evidentemente en una serie de pueblos que se gobernaban de manera autónoma, ocupado cada uno de ellos, probablemente, por clanes distintos. Esta gente estaría estrechamente ligada al suelo, porque no abandonarían de buena gana la tierra que habían puesto en cultivo con tanto trabajo. Tendrían fuertes poderes disciplinarios para mantener la unión en el clan, negando el agua del riego a cualquier miembro recalcitrante, y obligándole así a hacer la voluntad de la comunidad. No hay duda de que se produjeron frecuentes disputas y aun guerra entre un clan y otro con motivo de los derechos sobre el agua, y con toda seguridad el fértil valle fué una tentación para los guerreros nómadas de los confines, que harían frecuentes incursiones sobre los agricultores. Probablemente se formaron asociaciones de clanes bajo el mando de algún jefe poderoso, para evitar estos trastornos. De un modo u otro, en la época a que pertenecen los primeros testimonios históricos, unos tres mil años antes de Cristo, la totalidad de Egipto se había fundido a través de la conquista en un estado totalitario bajo Menes, primer jefe de uno de los clanes y ahora rey y también dios, con los primitivos poderes del clan unidos a su per-

sona. Con el mantenimiento de un ejército pudo evitar guerras anteriores y proteger a los agricultores de las incursiones del exterior.

Entre tanto, los últimos dos mil o tres mil años del período neolítico, habían producido un extraordinario número de inventos que afectaron directamente al progreso material humano. Verdaderamente, el progreso en este período fué mayor que en cualquier otro antes de nuestro tiempo. Gordon Childe enumera los inventos de esta época de la manera siguiente: riego artificial usando canales y zanjas; el arado; el aprovechamiento del poder animal; el barco de vela; los vehículos de ruedas; la horticultura; la fermentación; la producción y uso del cobre; los ladrillos; el arco; el barnizado cerámico; el sello, y—en las primeras etapas de la revolución urbana—el calendario solar, la escritura, la notación numérica y el bronce.

Todos estos inventos, excepto los vehículos de ruedas, se usaban en Egipto en los primeros tiempos de los que tenemos testimonios históricos, después que Egipto había pasado a través de la revolución de las ciudades y llegado a ser un estado civilizado. Las primeras comunidades neolíticas fueron autosuficientes, pero la floreciente agricultura de Egipto—una agricultura mixta—empezó a mantener aquellas clase de trabajadores no agrícolas, incluyendo herreros, marineros, oficinistas y oficiales de todas clases, sacerdotes, un ejército y una casa real. Los agricultores tenían que pagar tributo al monarca divino en la forma de alimentos y labor. Las vituallas eran guardadas en los graneros reales y empleadas para el soporte de las otras clases y para el comercio con el extranjero. Toda esta organización requirió el llevar libros con las áreas de terreno y las cantidades de grano, etc., y, por lo tanto, algún conocimiento de aritmética y geometría. El mantenimiento de un calendario y la orientación de los templos requería algún conocimiento de Astronomía. La Ciencia egipcia, en todo caso, era severamente práctica. Nunca pareció alcanzar más allá de un estado empírico o llegar a alguna cosa en el lado de la generalización. A pesar de esto, es interesante notar que los cálculos para la Gran Pirámide, la base de la cual se pretendió fuera un cuadrado perfecto, midiendo de lado veintitrés metros con seis, fueron tan exactos, que el error por medida no excede hoy de dos con cinco centímetros en cualquiera de sus lados.

Hemos visto cómo al alcanzar un estado de progreso material, los suelos aluviales fueron los más adecuados para la práctica de la agricultura intensiva en gran escala. Como ya hemos dicho, los

instrumentos accesibles eran de piedra y madera, y, más tarde, de cobre y bronce. Estos eran perfectamente adecuados para llevar a cabo todas las operaciones de cultivo en los suelos de aluvión, así como para abrir canales y zanjas. Cuando se inventó el arado, era un simple instrumento de madera muy adecuado para esos suelos que no requieren un arado profundo. Hoy mismo, el arado de uso general en Egipto difiere muy poco del empleado hace cinco mil años, y muchas de las operaciones de cultivo son aún llevadas a cabo con el azadón, el cual se emplea también para el excavado de canales y pozos.

El mantenimiento de un sistema de irrigación, no obstante, requería una fuerte administración central. Si ésta fallaba, el resultado podría llegar a ser el caos y la vuelta de la tierra al desierto y las inundaciones incontroladas y desperdiciadas, como sucedió más tarde en Mesopotamia con la erosión del suelo como factor contributivo.

Así, algunas de estas tempranas civilizaciones desaparecieron, y en el gran período siguiente nuevas civilizaciones se levantaron sobre los suelos mediterráneos. Tres de los pocos inventos atribuibles al período que sucedió inmediatamente a la revolución de las ciudades, contribuyeron e hicieron verdaderamente posible la aparición de estas nuevas civilizaciones. Estos fueron: métodos económicos para el fundido y trabajo del hierro; un alfabeto sencillo, y, más tarde, el acuñado de monedas.

Los instrumentos de hierro hicieron posible extender la práctica de la agricultura intensiva a las tierras de bosque y a suelos pedregosos en áreas con las suficientes cantidades de lluvia para hacer innecesario el riego. Los bosques pudieron ser roturados, los terrenos pantanosos desecados mucho más fácilmente; y los suelos más profundamente arados, abriendo así a la agricultura vastas áreas de tierra virgen. Ahora, por la primera vez también un cultivo continuo pudo ser practicado sobre suelos forestales. Esto fué un gran avance, ya que en estas regiones, antes, los hombres estaban forzados a adoptar una existencia seminómada. El cultivo continuo proveyó las condiciones necesarias para el establecimiento de comunidades permanentes organizadas, y sobre esta base fué construída la civilización grecorromana.

El nuevo arte del cultivo continuo sobre estos suelos forestales, el desgaste del suelo previamente contrarrestado por medio del desplazamiento del cultivo, fué evitado en algún modo por el abonado,

las buenas prácticas agrícolas y el cultivo de leguminosas. Fué también compensado por la relativa rapidez con la cual fué formado nuevo suelo de la materia prima, bajo las condiciones mediterráneas. El número de libros escritos sobre agricultura testimonian el cuidado y atención que fueron, al menos por algún tiempo, pagados a los suelos. No obstante, llegó un tiempo en que, a pesar de todos estos métodos de conservación del suelo y la rapidez con que nuevas tierras pudieron ser puestas en cultivo, fué insuficiente para sostener las poblaciones rápidamente crecientes. Había que encontrar otras salidas. Los descubrimientos, previamente mencionados como introducidos en la edad del hierro, hicieron estas salidas posibles. Otra vez he de citar a Gordon-Childe: «Las posibilidades abiertas por los instrumentos de hierro, la escritura alfabética y la moneda acuñada, fueron mejor aprovechadas por las comunidades que podían explotar la baratura del transporte marítimo para el comercio o aquellas que habían salido de la barbarie directamente a una civilización de la edad del hierro, sin sentirse influídas por demasiados legados de la edad del bronce.

Los fenicios y etruscos gozaron de la primera ventaja; los judíos y los romanos de la segunda. Solamente los griegos se beneficiaron de ambas.»

La mayor parte del campo de Grecia era pobre y montañoso, pero el suelo era muy adecuado para el desarrollo de viñas y olivos; por eso los griegos abandonaron el cultivo de plantas fundamentales para dedicarse a la agricultura especializada, y el excedente de población se hizo marínero o se dedicó al comercio o a la industria. Exportaban no sólo vinos y aceite de oliva, sino también plata de las minas de Laurión y artículos baratos, tales como recipientes de barro que producían en gran escala. En contrapartida, importaban productos alimenticios. Finalmente, el país vino a depender casi exclusivamente de su comercio de ultramar, en cuanto al principal suministro de alimentos, incluyendo también los cereales panificables. Pero, al hacerlo así, Grecia fué capaz de sostener una población muchísimo mayor que la que podría haber alimentado directamente con sus propias tierras. Con el tiempo apareció una clase acomodada de capitalistas, cuya prosperidad procedía en gran parte de los resultados del trabajo de los esclavos. Los atenienses pertenecientes a esta clase, y aquellos a quienes ellos protegieron, en especial en los siglos IV y V antes de Cristo, podían dedicarse a menesteres in-

telectuales, y de ellos hemos recibido la cultura helénica que tiene aún tanta influencia en el pensamiento moderno. A su vez, heredaron todo el conocimiento adquirido en las anteriores civilizaciones, particularmente las de Babilonia y Egipto. Este conocimiento había sido puramente empírico, pero a partir de él los griegos hicieron generalizaciones, dando lugar al nacimiento de la ciencia teórica. Por ejemplo, los antiguos egipcios habían usado balanzas durante siglos, y debieron haber desarrollado algunos de los principios necesarios por métodos puramente empíricos. Le correspondió a Arquímedes presentarlos en una forma lógica, y dar lugar así a la Ciencia de la Estática. No debemos subestimar, sin embargo, la eficacia de los métodos puramente empíricos ni la relativa rapidez con que pueden producir resultados, aunque, naturalmente, mucho menos que aquellos métodos con los que pueden obtenerse resultados por medio de la experimentación científica directa. Después de todo, los métodos empíricos han dado lugar a los notables adelantos que hemos enumerado como realizados en la era neolítica. Un caso notable de su uso por el moderno agricultor egipcio, tuvo lugar en relación con el espaciado óptimo para las plantas de algodón. El doctor Lawrance Balls, al investigar la planta del algodón en Egipto, cuando su cultivo había durado menos de cien años en el país, llevó a cabo una serie de experimentos sobre el espaciado de las plantas. Como resultado de ellas, encontró que el espaciado óptimo era exactamente el que el agricultor mismo usaba entonces. Unos veinticinco años después de la introducción de nuevas variedades de la planta, se llevaron a cabo experimentos recientes, y se encontró que el espaciado óptimo para estas variedades era mucho menor que para las variedades más antiguas. Estos experimentos se continuaron durante un período de cinco años, y durante este tiempo se observó que el agricultor al usar estas nuevas variedades, disminuía el espaciado de las plantas más y más cada año.

A la velocidad en que se efectuaba se calculó que serían necesarios treinta años para este método empírico para alcanzar el espaciado óptimo, que ha sido confirmado por la experiencia directa en cinco años. Lo interesante es que finalmente hubieran obtenido el mismo resultado. También he observado en vuestro país la práctica de la labor contorneada y cultivo de secano, prácticas que han debido ser descubiertas por métodos empíricos.

Si nos dirigimos a esa otra civilización del Mediterráneo, la ro-

mana, aparece de nuevo la historia de un pueblo activo que desarrolla sus suelos hasta el límite de capacidad y que lo hace bien. Pero cuando ese límite ha sido alcanzado, deben buscar otras salidas para su exceso de población. Sugiere Child que al no tener industria de exportación, desarrollaron las de la usura y la guerra. Encontramos el desarrollo de la agricultura en grandes dominios trabajados por esclavos (los esclavos eran un botín de guerra), y últimamente un imperio cuyo centro dependía principalmente para su alimentación de las colonias tributarias. Se ha dicho que la decadencia del Imperio romano, se debió al agotamiento y erosión del suelo, abandono del suelo que siguió al establecimiento de los grandes dominios trabajados por esclavos. Es indudable que en la Italia actual hay muchas muestras de erosión del suelo, pero no hay evidencia de que el suelo cultivado sea menos productivo ahora de lo que era en los primitivos tiempos romanos. Es evidente que nunca pudo producir lo necesario para convertir a Roma en la ciudad poderosa que fue en su cénit. Los activos romanos adquirieron por esto un Imperio, y la decadencia de éste ha sido atribuida a la degeneración del pueblo y no a la del suelo. No estoy preparado, sin embargo, para descontar enteramente la posibilidad de que el agotamiento y la erosión del suelo hayan tenido algo que ver con la decadencia.

La civilización moderna del noroeste de Europa se ha fundado sobre la conquista de los suelos podsólicos de las regiones forestales más húmedas. Fue una gran hazaña que necesitó una lucha larga que todavía continúa hoy, porque, en su estado natural, esos suelos no son adecuados para el cultivo de los granos panificables ni de la mayor parte de las otras plantas alimenticias. Son ácidos y contienen pocos alimentos minerales, poseyendo gran tendencia a revertir a la estructura de granos sueltos. Para mantenerlos en producción, por consiguiente, es necesario mantenerlos con una elevada cantidad de bases y emplear todos los procedimientos para conservar la estructura grumosa que ha sido conseguida mediante años de cultivo cuidadoso. Si se abandonan estos suelos retornan a bosque o a matorral. Por ahora, no hay evidencia de un amplio agotamiento o erosión del suelo, como ha ocurrido en la mayoría de otras regiones. Se debe esto, en parte, a la distribución uniforme de la lluvia y a la consiguiente ausencia de los fenómenos torrenciales, y, en parte, al tipo de agricultura desarrollada. El desarrollo de este tipo de cultivo ha sido un lento y largo proceso, culminando en un sistema o

sistemas, los cuales no sólo han conservado el suelo, sino que han aumentado también grandemente su productividad.

El sistema feudal y sus continuadores produjeron una clase de familias poseedoras de tierras firmemente apegadas al suelo. Las comunidades asociadas fueron ampliamente autosuficientes y no se puso un excesivo interés sobre el suelo durante los tempranos pasos de la conversión de bosques en tierra de cultivo y a través de la Edad Media. El incremento de la población no fué grande, y además existía ya una salida para ella en la emigración a las tierras de América, recientemente descubiertas. Cuando tuvo lugar el enorme incremento de la población de Europa, debido a la revolución industrial, estas nuevas tierras estaban listas para alimentar el exceso de población, y por eso no se puso mayor interés en los suelos del Viejo Mundo. Además, casi al tiempo, se lograron avances técnicos en la agricultura, impuestos en Gran Bretaña principalmente por miembros de la clase propietaria de tierras. Estas mejoras trajeron un incremento de la productividad del suelo, sin incrementar la posibilidad de un agotamiento. En la primera mitad del último siglo, la primera Estación para la investigación científica de los suelos, fué fundada por un propietario inglés, y uno de los primeros resultados del trabajo de esta Estación fué la producción y uso de fertilizantes. Así fué puesto en juego otro factor para el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

Desde luego, el noroeste de Europa desde la revolución industrial ha estado conservando la productividad de sus suelos, principalmente a expensas de los nuevos países, con los desastrosos resultados en erosión y agotamiento que ahora afligen a estas áreas. Además, en dos guerras los países beligerantes de Europa fueron forzados a llegar a abastecerse a sí mismos en alimentos, y no parece existir ningún declive en la productividad de los suelos. En efecto, durante el período de la última guerra, el rendimiento de trigo en Gran Bretaña fué incrementado, y esto a pesar del hecho de que gran parte del trigo fué cultivado en suelos sobre los que no había sido cultivado antes, y los cuales habían sido previamente considerados como inadecuados para el cultivo. Las condiciones económicas necesitan ahora una continuación de los esfuerzos de los países europeos para llegar a bastarse a sí mismos con relación a los principales alimentos. No se puede decir cuáles serán los últimos resultados. ¿Declinará la civilización occidental, o puede el equilibrio ya establecido

entre el hombre y los suelos podsólicos ser reajustado por la aplicación de nuestros nuevos y más recientes conocimientos, de manera que los suelos puedan satisfacer las nuevas demandas a que se verán sometidos?

Sin embargo, el hombre no ha logrado una conciliación completa entre él mismo y los tipos chernosien y laterítico del suelo en cuanto a su utilización eficaz combinada con la seguridad de su conservación. Cuando lo haga, ¿aparecerán nuevos tipos de civilización sobre estos suelos?

Hay algunas cuestiones que se presentan a uno, cuando considera la influencia del hombre sobre los suelos y la de los suelos sobre el hombre y que dan a la Ciencia del Suelo una importancia en los asuntos humanos que no le es siempre reconocida. Yo he mencionado ya la parquedad existente de referencias del suelo como factor en el desarrollo y progreso del hombre. Muchas autoridades, sin embargo, están de acuerdo en reconocer al clima un papel importante en la determinación del curso de la historia. Mucho se ha escrito para probar que el clima ha tenido una repercusión enorme en la totalidad del desarrollo humano. En esta breve conferencia, al señalar el desplazamiento del centro de la civilización de un grupo de suelos a otro, lo he hecho también desde los climas subtropicales a otros fríos y más fríos.

Se ha argüido que este desplazamiento está asociado con el clima. Markhan, por ejemplo, en su obra *Climate and the Energy of Nations*, atribuye el movimiento al desarrollo de los métodos técnicos de calefacción de las casas. Por otra parte, yo he sugerido que el movimiento dependía del dominio del arte de cultivar los suelos de grupos diferentes y sucesivos, de tal manera que fuesen capaces de sostener comunidades permanentes y organizadas. A medida que mejoraron los instrumentos del hombre y aumentó su conocimiento, le fué posible poner en cultivo suelos más y más difíciles. Naturalmente, no se puede aislar el clima del suelo, o viceversa, puesto que el clima determina, en parte, la naturaleza del suelo. Sin embargo, no es su único factor. ¿Cuál desempeña, entonces, el papel dominante en el progreso humano, el clima o el suelo?

Hemos visto que el sometimiento de los suelos aluviales y subtropicales de regadío implicó una enorme tarea, y que durante este período se hicieron muchos avances en el progreso material. Esto indicaba un vigor e iniciativa por parte de los hombres interesados, vigor

e iniciativa que se continuaron poniendo en juego algún tiempo después de la revolución urbana. Después de ello se registran pocos adelantos. ¿Se gastó la energía en la lucha por la conquista del suelo? ¿Perdió el pueblo su vigor y degeneró una vez que la lucha hubo terminado y la producción de alimentos se hizo relativamente fácil? Así, en el caso de los griegos y romanos, ¿les estimuló su lucha inicial con el suelo a lanzarse en nuevas direcciones cuando su país había alcanzado el límite de productividad? ¿Indujo ésta la actividad intelectual, en los griegos, y las actividades técnicas y organizadas, en los romanos, o es que fué el clima de sus países respectivos más apropiado para la actividad e iniciativa que el de los subtropicales? Cuando la vida se hizo demasiado fácil para ellos, ¿perdieron también su vigor y degeneraron?

El vigor presente del europeo moderno, ¿se debe a su lucha reciente y actual con el suelo, o es una consecuencia del clima más frío y más duro? ¿Está también perdiendo su vigor y degenerando? ¿Está en decadencia su civilización y va a ser sustituida por otra?

Tal vez tiene que existir siempre un ciclo de ascenso y caída en las civilizaciones. ¿O tendrá el hombre el juicio necesario para considerar sus suelos y acomodarse a ellos de tal modo que se convierta en el dueño de sus propios destinos?

NOTAS

REUNION INTERNACIONAL DE QUIMICA

Del 3 al 15 del pasado mes de septiembre, han tenido lugar en Nueva York y Washington una serie de actos científicos de carácter internacional con motivo de la celebración de las bodas de diamante de la Sociedad Americana de Química, entidad que cuenta con más de 60.000 socios; de la XVI Conferencia de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada y del XIII Congreso de la Unión, sumando en total más de 18.000 los químicos de diferentes países reunidos con dicho motivo.

La representación española estuvo formada por los Profesores Pascual Vila, de la Universidad de Barcelona; Burriel Martí y Foz Gazulla, de la de Madrid, y Costa Novella, de la de Valencia. Asistieron, además, el Catedrático de la Universidad de Sevilla, Profesor Martínez Moreno, como miembro de la Sección de la Grasa de la Unión, y tres jóvenes investigadores, el Prof. Gamboa y los Doctores Alvarez Osorio y Fernández Caldas, pensionados por la Fundación Ford, al igual que otros 60 jóvenes químicos de diferentes países.

El Profesor Burriel Martí, Jefe de Sección del INSTITUTO de EDAFOLOGÍA, fué elegido miembro del Comité de «Reactivos Nuevos». En cuanto a los trabajos se refiere, la representación española aportó numerosas comunicaciones; el Profesor Burriel Martí presentó una, en colaboración con los Dres. Ramírez y Fernández-Caldas, sobre «Determinación de calcio por métodos colorimétricos indirectos».

Citaremos, por último, la importancia concedida en dichas reuniones, junto a otras, a las Secciones de Química Agrícola, Química de los Alimentos y Química de los Fertilizantes.

ARCILLA CON PROPIEDADES TERAPEUTICAS

El Profesor Hauser, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, ha presentado recientemente los resultados de los trabajos efectuados

sobre unas arcillas muy finas empleadas tanto por médicos como por veterinarios, debido a su acción terapéutica. Hauser, deduce de su estudio que las propiedades terapéuticas (incluso bactericidas) son debidas al grado extremo de división de la arcilla, pudiéndose mejorar ésta por centrifugación, mediante la cual se eliminan partículas cuarzosas o micáceas.

VIAJE A GOTINGA

Respondiendo a la invitación efectuada por la Casa Phywe, de Gotinga (Alemania), han asistido a unas jornadas de presentación de material científico efectuadas por dicha casa, los Doctores don Vicente Aleixandre, Jefe de Sección de nuestro INSTITUTO, y don Lorenzo Plaza, designados por las Direcciones de Enseñanza Media y de Enseñanza Profesional y Técnica, respectivamente.

PENSIONADOS

Por el C. S. I. C. han sido concedidas dos becas para efectuar trabajos de investigación en el Instituto del Silicato de Gotemburgo (Suecia) y una para el Servicio belga de Cartografía de Suelos, en Lovaina, a los miembros del INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA, Doctores Alvarez-Estrada y García Verduch, y Licdo. Gómez Saliz, respectivamente.

DOS CIENTIFICOS EXTRANJEROS EN EL INSTITUTO

Los días 15, 17 y 26 del corriente mes de octubre, ha pronunciado tres conferencias en nuestro INSTITUTO el Dr. D. J. Doeglas, del Laboratorio de Mineralogía y Geología de la Escuela Superior de Agricultura de Wageningen (Holanda). Los temas de las conferencias han sido los siguientes:

«El estudio de los sedimentos y sus aplicaciones».

«La interpretación de los análisis granulométricos».

«El transporte de material sedimentario».

El Prof. R. Tavernier, Catedrático de Geología del Cuaternario y Geomorfología de la Universidad de Gante, Director del Servicio belga de Cartografía de Suelos y Presidente actual de la Sociedad In-

ternacional de Ciencia del Suelo, disertó los días 29 y 31 sobre «La organización de la cartografía de suelos de Bélgica» y «Los suelos de Bélgica», respectivamente.

Asimismo, aprovechando su estancia en España y acompañados por el Dr. Muñoz Taboadela, el Dr. Doeglas y el Prof. Tavernier



Prof. R. Tavernier.

han visitado la zona de Motril (con los Profesores Hoyos y Capitán, de Granada) para estudiar los suelos y cultivos de ella; y las tierras negras y rojas y suelos salinos de la provincia de Sevilla, incluyendo el delta del Guadalquivir, siendo facilitada amablemente la visita en esta segunda parte del viaje por el Ing. Grande Cobián y el Prof. Rodríguez de Velasco.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIA DEL SUELO

Sesión del día 30 de octubre de 1951

Correspondió celebrar esta Sesión, por turno reglamentario, en la Facultad de Ciencias. Formaron la Presidencia con el Profesor Albareda; el Vicedecano de la Facultad, Prof. Ipiens; el Presidente de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo, Prof. Tavernier; el Presidente del Consejo Agronómico, Ing. Cruz Valero; el Director de la Escuela Especial de Ingenieros Agrónomos, Prof. Arrúe y el Secretario de la Sociedad, Dr. Alvira.

Primeramente, el Prof. Burriel, en representación de la Facultad de Ciencias, expuso las aportaciones hechas por las Facultades de Ciencias Españolas a la Ciencia del Suelo, destacando la figura del que fué Maestro de investigadores Prof. Gregorio Rocasolano. Seguidamente, el Prof. Tavernier dirigió un saludo a los edafólogos españoles mostrándose admirado del gran desarrollo alcanzado por la Edafología durante estos últimos años en España

A continuación fueron presentadas las siguientes comunicaciones:

J. M.^a ALBAREDA, V. ALEIXANDRE y M.^a C. SÁNCHEZ CALVO: Estudio mineralógico de la fase arcillosa de pizarras silúricas.

E. GUTIÉRREZ RÍOS y L. ROS DE URSINOS: Adsorción de vapores por silicatos de estructura laminar.

E. GUTIÉRREZ RÍOS y J. CANO RUIZ: El cambio iónico en silicatos de estructura laminar.

J. GARCÍA VICENTE: Estudio por rayos X de algunas pizarras y talcos españoles.

J. RAMÍREZ MUÑOZ: El análisis espectral en serie de elementos traza.

Terminada la sesión, se reunió la Junta de la Sociedad, tomándose entre otros acuerdos, el de nombrar Socio de Honor al Profesor Tavernier.

BIBLIOGRAFIA

SELMAN A. WAKSMAN: *The actinomycetes Their nature, occurrence, activities and importance.*—1950. Chronica Botanica Co. Waltham, Mass., E. U., XII + 230 págs.

The actinomycetes es la penúltima obra de Waksman, y constituye, sin duda, un fruto de madurez, porque el autor ha consumido casi toda su vida científica—tres décadas y media—en el estudio de ese grupo de pequeños seres, cuyo nombre sirve de título al libro.

Una característica muy importante de esta nueva publicación es ofrecer la exposición más completa del tema conocida hasta la fecha. Según dice el mismo Waksman en el prefacio de la obra, «ha tratado de recoger el trabajo de otros investigadores, haciendo algo más de hincapié en la labor desarrollada en los laboratorios del Departamento de Microbiología de la Universidad de Rutgers y de la Estación Agrícola Experimental de Nueva Jersey», del cual es actualmente director. Este trabajo de compilación lleva implícita la consulta de una abundante bibliografía—522 citas—, consignada alfabéticamente en un apéndice junto con los medios de cultivo usados en el estudio de los actinomicetos.

Otro aspecto interesante de la obra es una justa proporción en la amplitud concedida a cada uno de los diferentes capítulos, no exagerándose la extensión de ninguno de ellos, ni siquiera del que se ocupa de un tema de máxima actualidad y, por consiguiente, tentador: los antibióticos producidos por actinomicetos.

Las cuestiones tratadas a lo largo del libro son: terminología; filogenia y taxonomía; identificación y descripciones de tipos importantes; morfología y ciclo vital; variaciones y mutaciones; metabolismo, desarrollo y nutrición; producción de olores y pigmentos; ídem de enzimas y factores de crecimiento; propiedades antagonísticas y producción de antibióticos; distribución de los actinomicetos

en la naturaleza ; descomposición de restos animales y vegetales ; los actinomicetos como causantes de enfermedades en las plantas ; ídem en los animales y en el hombre.

Se trata, pues, de una obra interesante por igual para los científicos más diversos: microbiólogos, bioquímicos, fitopatólogos y edafólogos. Para estos últimos, el libro tiene un atractivo especial, porque Waksman es, ante todo, un microbiólogo del suelo, cualidad responsable, al menos en parte, de los grandes éxitos conseguidos en sus tareas investigadoras.

Diremos, por último, que la edición es esmerada, pulcra y de buen gusto.—A. PRIETO.

ALBERT DEMOLÓN y ALBERT MARQUÍ: *Le phosphore et la vie*.—1949, 1.^a edición. Colección *Que sais-je?* Preses universitaires de France. París, 118 págs.

Pertenece a una colección de obras de divulgación ya famosa por los temas tan interesantes escogidos y por lo magníficamente tratados, especialmente en cuanto a lo que se refiere a la puesta al día del tema.

No faltan tales características en esta nueva obra, cuya valía asegura el aparecer entre los autores Demolón, sin duda el científico más caracterizado en cuestiones de fósforo en Francia.

La obra, dada a la imprenta precisamente cuando tuvieron lugar las «Jornadas consagradas al fósforo y a su papel en biología», que se celebraron en París, está embebida del deseo de poner de manifiesto la importancia tan capital que tiene en la Agricultura el fósforo y, en consecuencia, el calcio.

Partiendo de la distribución del fósforo en la litosfera, los autores continúan tratando el papel de aquél en la vida vegetal, animal y en la salud humana. En este asunto utilizan las estadísticas de antes, durante y después de la última guerra mundial, datos que son muy ilustrativos. Muy interesantes son las partes dedicadas al ciclo del fósforo y al fósforo en la agricultura. Mucha materia para tan corto espacio, pero está magníficamente seleccionada.

Dedican un epígrafe al tema del fósforo radioactivo y a sus aplicaciones en la química agrícola, e incluyen tablas sobre consumo de fosfatos minerales en el mundo, que son muy instructivas e interesantes. Terminan con unas conclusiones sobre los puntos que se de-

ben tomar en consideración para aumentar y mejorar la producción vegetal; para ampliación bibliográfica ofrecen los trabajos de las «Jornadas del fósforo».—V. HERNANDO.

FIRMAN E. BEAR ET AL (prep.): *Hunger Sings in Crops, A Symposium*.—1950. The American Society of Agronomy and The National Fertilizer Association. 2.^a edición revisada, 390 págs.

Los actuales conocimientos sobre el metabolismo de las plantas han contribuido extraordinariamente a un mejor aprovechamiento de las especies de interés agrícola, y hoy día el agricultor se halla en mejores condiciones de «alimentar» sus cosechas, incrementando con ello el rendimiento de las mismas. Las plantas, como seres vivos, necesitan tomar sus alimentos y transformarlos en tejidos y energía necesaria para llevar a cabo sus procesos vitales. Las plantas pueden estar sanas o enfermas, y morir. Al igual que el hombre, pueden padecer enfermedades benignas o graves, y para evitarlas necesitan tomar determinados elementos nutritivos, que han de suministrarse en una dieta equilibrada. En cuando esta condición deja de cumplirse, la planta enferma, presenta una serie de síntomas externos que sirven para diagnosticarla. El estudio de los síntomas no es fácil: un mismo elemento puede acusar síntomas diferentes de unas plantas a otras; para ello se requiere estudios experimentales en la vegetación que crece espontáneamente; en los campos cultivados, realizando experimentos en microparcels, en macetas y en soluciones nutritivas. Esta tarea no es fácil; no sólo presenta las dificultades propias de la interpretación de los síntomas de la enfermedad, ya por sí solos complejos, sino también porque exige perfecto conocimiento de las condiciones normales de las plantas. *Hunger Signs in Crops* reúne un considerable número de síntomas, expuestos de una manera sencilla, rehuyendo, hasta donde las circunstancias lo permitieron, el uso de tecnicismos, lo que hace que esta obra sea fácilmente interpretada por cualquier persona sin necesidad de profundos conocimientos de Fisiología vegetal, Química, Morfología o Edafología.

En el capítulo I aparece, bajo el título ¿Por qué las plantas pasan hambre?, una exposición de los alimentos de las plantas y de los factores del ambiente que inducen los síntomas, tales como zona de las raíces, acidez del suelo, temperaturas, excesos de cal, enfermedades provocadas por insectos y por daños mecánicos.

Los síntomas de deficiencia, generalmente no se manifiestan en la planta hasta que ha transcurrido bastante tiempo desde que se produjo aquélla. Por esta causa con frecuencia no es posible corregirla hasta la cosecha inmediata. Las pruebas de los tejidos en plantas vivas mediante adecuadas reacciones microquímicas, constituyen una valiosa ayuda para diagnosticar la deficiencia antes que la penuria de un elemento se haga tan severa que la planta muestre los síntomas específicos.

Las relaciones existentes entre la nutrición animal y vegetal hacen aumentar aún más la importancia de las deficiencias o excesos de elementos minerales en las plantas. Los animales dependen directa o indirectamente de las plantas por lo que se refiere a su alimentación. Cuando aquéllos son alimentados con plantas nutricionalmente enfermas, los productos que suministran al hombre, carne, pieles, etc., son de mala calidad. Cuando el ganado vacuno pasta en prados pobres o carentes de cobalto, se vuelve débil, pierde la apetencia por los piensos secos de granos, la piel se hace áspera, la coordinación muscular es pobre... El cobalto no parece ser indispensable para la planta, pero en cambio es necesario para un desarrollo normal de los animales. Lo mismo se puede decir del yodo.

El capítulo II trata de las deficiencias nutritivas en el tabaco, estudiando detalladamente las provocadas por falta de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, boro, manganeso, azufre, hierro, cobre y cinc; reconocimiento de plantas que presentan varias deficiencias simultáneamente, y estudio comparativo de los diversos síntomas que puede presentar el tabaco.

El capítulo III está dedicado al estudio de los síntomas de deficiencias que presentan el maíz y otros cereales de grano menor, tales como trigo, cebada, arroz, avena y centeno. Presta especial interés al maíz, del que hace mención de las pruebas químicas en los diversos tejidos del mismo para ayudar a diagnosticar las posibles deficiencias en nitratos, fosfatos y potasio, así como la manera de preparar los respectivos reactivos.

Los capítulos IV hasta el IX y último de la obra, están dedicados, respectivamente, al estudio de las deficiencias en la patata, algodón, hortalizas, árboles frutales caducifolios, leguminosas y naranjos. Las líneas generales en que se desarrolla cada uno de estos capítulos son similares a las seguidas en los primeros. Todos ellos llevan una clave dicotómica para ayudar al diagnóstico de los síntomas de defi-

ciencias, usando caracteres fácilmente observables, lo que hace de una gran utilidad práctica esta obra. Al final va un corto apéndice de plantas indicadoras de deficiencias; hay especies, e incluso variedades, que son más sensibles a la carencia de elementos nutritivos que otras. Por ejemplo, diferentes líneas de maíz plantadas todas el mismo día y en el mismo terreno pueden exhibir diferentes grados de síntomas de desnutrición. En general, las plantas cultivadas para su aprovechamiento agrícola no se comportan como plantas indicadoras. Por el contrario, muchas de las más frecuentes malas hierbas que suelen invadir los sembrados son especies indicadoras.

Indudablemente, *Hunger Signs in Crops* es una obra de gran valor y necesaria para cuantos se hallen interesados en el estudio de problemas relacionados con la nutrición de las plantas. Está magníficamente editada; encuadrada en tela, con 390 páginas en papel couché, en las que van impresas unas 370 láminas, de las cuales 124 están en color, en su mayoría excelentemente hechas, mostrando claramente los distintos aspectos de las plantas sanas y con síntomas de deficiencias nutritivas.—E. VIEITEZ.

Bibliography of the Literature on the Minor Elements and their Relation to Plant and Animal Nutrition.—1948, vol. I, 4.^a edición. Recopilada y publicada por el «Chilean Nitrate Educational Bureau Inc.». 120 Broadway. Nueva York, 5, N. Y., 1.023 págs.

El interés creciente que se deja sentir en todas partes sobre la investigación del papel de los microelementos en la vida de las plantas y animales, ha producido una tan vastísima bibliografía sobre los mismos, que es materialmente imposible de controlar totalmente; de aquí la importancia que tiene una publicación como esta que comentamos. El *Chilean Nitrate Educational Bureau, Inc.*, pone en las manos del público una gran obra, en la que reúne millares de citas bibliográficas, con un resumen más o menos amplio, según la importancia de la cita, pero siempre suficiente, por dar una idea del trabajo realizado. La mayoría de estos resúmenes son tomados del *Chemical Abstracts*, de la *American Chemical Society*, de *Experiment Station Report* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; del *Soils and Fertilizers*, publicado por el *Commonwealth Bureau of Soil Science* de Harpenden, Inglaterra, y también de otras revistas de menor importancia.

Las distintas citas están ordenadas cronológicamente para cada elemento considerado. Los elementos cuyas citas se recopilan son 45, apareciendo distribuidas por orden alfabético. Trae al final una serie numerosa de citas sin clasificar, así como también índices de elementos, de nutrición general, en los que hace clasificación alfabética de los animales estudiados con sus respectivos elementos, y un índice botánico, también ordenado alfabéticamente, de las distintas especies con las citas correspondientes.

La obra es de un indiscutible valor, está magníficamente encuadrada, tiene 1.023 páginas de 22 × 28 cms., en las que hay varios millares de extractos bibliográficos. A esto puede añadirse que este libro se obtiene gratuito solicitándolo de la *Nitrate Corporation of Chile, Ltd.*, Stone House, Bishopsgate, Londres E. C. 2; de la casa central de Nueva York, cuya dirección indicamos al principio, o de la delegación en España.—E. VIEITEZ.

OTRAS REVISTAS DEL PATRONATO «ALONSO DE HERRERA»

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

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

Precio del tomo anual, 30 pesetas.

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

Publica trabajos y notas científicas que abarcan todos los campos de la Botánica.

Precio del tomo anual, 100 pesetas.

Collectánea Botánica.—Publicación del Instituto Botánico de Barcelona.

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

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

Dedica una parte a reseñas bibliográficas y a la información.

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

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

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

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

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

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

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

Microbiología Española.

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

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

PATRONATO «JUAN DE LA CIERVA» DE INVESTIGACION TECNICA

DEPARTAMENTO DE SILICATOS

Patente de invención por «Un procedimiento de obtención de pastas cerámicas destinadas a la fabricación de dieléctricos de bajas pérdidas en altas y bajas frecuencias, para la industria electrónica en general».

De conformidad con lo dispuesto por el Reglamento de este Organismo, se pone en conocimiento del público y empresas interesadas que puede solicitarse licencia de explotación de dicha Patente.

Para informes y solicitudes, hasta el día 30 de noviembre de 1951, en el Departamento de Silicatos del Patronato «Juan de la Cierva», Serrano, 113 (INSTITUTO DE EDAFOLOGIA)



Precio: 20 ptas.

Tomoko X. Nishida Y. Ogiwara Y. Eguchi. 1951. *Journal of Geology*, 57: 1-10.