

ALTERACION QUIMICA Y MINERALOGICA DE  
ROCAS NO IGNEAS DE LA SIERRA DE FRANCIA  
(SALAMANCA) BAJO DIFERENTES  
CONDICIONES EXTERNAS

J. SAAVEDRA\*

M.<sup>a</sup> T. MARTÍN PATINO\*

A. ARRIBAS\*

RESUMEN.—Se estudia la alteración por agentes externos en cuatro perfiles correspondientes a rocas no ígneas, considerando la movilidad relativa de los elementos mayoritarios.

La evolución es distinta según la roca, pero los productos finales tienden a ser los mismos. En general, hay un ligero enriquecimiento en sílice y sesquióxidos.

SUMMARY.—Four profiles of weathered non-igneous rocks and the relative mobility of their major elements are studied in this paper.

The chemical evolution is different according to the mother rock but the residues are very similar in composition. Generally speaking there is an enrichment in silica and sesquioxides.

INTRODUCCION

En este trabajo hemos realizado un estudio semejante al ya hecho sobre la alteración de granitos, extendiéndolo a rocas no ígneas. El procedimiento analítico y las consideraciones sobre el mecanismo de meteorización de rocas silicatadas, importancia predominante de las razones molares, etc., coinci-

---

\* Instituto de Edafología de Salamanca.

den con lo referido en dicho caso. Asimismo, las muestras tomadas se han situado sobre el mapa geológico anterior, procediendo también los datos climatológicos de la misma fuente (MARTÍN PATINO, SAAVEDRA ALONSO y ARRIBAS MORENO, 1970).

Nos proponemos estudiar aquí los procesos de alteración de pizarras más o menos metamórficas y de calizas. Los perfiles están tomados sobre puntos muy heterogéneos, correspondientes a rocas metamórficas y sedimentarias. En la figura 1 se señalan los lugares de donde se tomaron las muestras de los perfiles, en colaboración con la Sección de Cartografía de Suelos del Centro de Edafología de Salamanca. En el perfil 1 la roca base es una pizarra arcillosa, en el 2 hay una alternancia filitas-cuarzitas, en el 3 una cornubianita y en el 4 una caliza dolomítica silíceo.

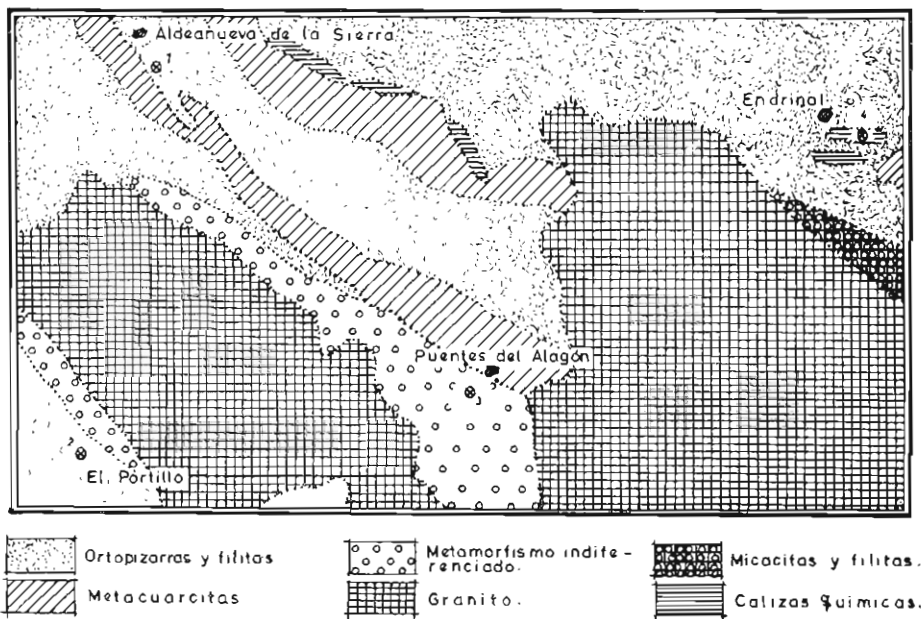


FIG. 1

En la Tabla 1 se incluyen los datos climatológicos básicos de interés, referentes a los perfiles.

TABLA I

PLUVIOSIDAD, TEMPERATURA (medias anuales) Y ALTITUD DE LAS MUESTRAS

| Localización                  | Pluviosidad<br>mm. | Temperatura<br>°C | Altitud<br>m. |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| A'deanueva de la Sierra ..... | 600-800            | 12,6              | 980           |
| El Portillo (Batuecas) .....  | Más de 1.000       | 12,0              | 1.200         |
| Puentes del Alagón .....      | 1.000              | 16,0              | 620           |
| Endrinal .....                | 600-800            | 12,6              | 950           |

## CARACTERISTICAS GENERALES

Las pizarras existentes en el perfil 1 son muy distintas a las que se presentan en los restantes. Pertenecen a una banda de unos 20 km. de longitud por 5 de anchura, que se extiende en dirección NW. En las zonas cetrales, a alturas superiores a los 1200 m. aparecen ya calizas (1). En el extremo opuesto al perfil existen bandas de escasa potencia de rocas con alto contenido en Ca y Mg (2). Todo ésto indica la posibilidad de concentraciones locales de los elementos aludidos.

SCHMIDT-THOMÉ (1945) indica también la existencia de rocas calco-magnesianas muy próximas al perfil 2. Toda la zona circundante está constituida por una estrecha sucesión de diversos tipos de pizarras, calcáreas en alguna ocasión, y cuarcitas. Los productos de alteración de todas estas rocas influyen en la composición del perfil, pero especialmente los de pizarras y calizas, ya que la escasa alteración química de las cuarcitas sólo contribuye a cierto enriquecimiento en SiO<sub>2</sub> del suelo.

En el perfil 3, la roca madre es una cornubianita. Pertenecer ésta a una faja que rodea al anticlinal granítico aludido en nuestro trabajo anterior. Esta faja es de desigual metamorfismo. Junto a Cereceda de la Sierra la roca es una corneana, extraordinariamente dura y con pirita. Al avanzar hacia el SE la orientación que presentaban las diaclasas del granito (paralelas al contacto) desaparece, cambiando igualmente el aspecto de las rocas metamórficas, que presentan este metamorfismo en menor grado. Esta banda alcanza su mayor espesor en la zona del perfil. Un corte de la misma, desde el comienzo hasta el final, muestra una sucesión heterogénea de rocas; de todas

<sup>1</sup> RÖLZ, comunicación oral.

<sup>2</sup> SAAVEDRA, J., tesis doctoral en preparación.

formas, en las proximidades del perfil se ha encontrado una veta con sulfuros, esencialmente pirita, que puede haber influido en el desarrollo del mismo.

El perfil 4 ha sido tomado sobre una caliza dolomítica rodeada de pizarras arcillosas y, a más distancia, de cuarcitas. La influencia de la pizarra es evidente, pero no modifica, en los rasgos fundamentales, la evolución de la roca.

El espesor de los materiales alterados es, en general, pequeño. El perfil con más profundidad es el 3, de acuerdo con sus características (roca granuda, de minerales alterables, y clima húmedo con temperatura media elevada). Sin embargo, es corriente la falta de roca alterada en los perfiles sobre calizas. El color negro de las pizarras metamórficas se torna, por alteración, en tonos más claros, amarillo o castaño, debido a las impregnaciones por óxidos de hierro. También se aclara el color de las pizarras arcillosas, que presentan frecuentemente tonos oscuros a causa del grafito que contienen. Pero las calizas son peculiares. La roca aflora como las cuarcitas o pizarras silíceas, en costillas que destacan del nivel del suelo. Su superficie presenta pequeños hoyos, allí donde se han disuelto los carbonatos, lo que indica el alto contenido en sílice de los numerosos puntos que no han sido atacados por los agentes atmosféricos. Como ejemplo, a veces, se presenta una delgada capa de roca alterada, más porosa, formada por disolución de los carbonatos y permanencia del esqueleto silíceo. El análisis de una de estas costillas dio un contenido de  $\text{SiO}_2$  superior al 80 %, siendo la cantidad de sílice en las rocas de este tipo inferior al 15 %.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se ha utilizado la misma técnica que se describió al estudiar la alteración de los granitos de esta misma zona, en otro trabajo.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

En las tablas siguientes (II, III, IV, V y VI) damos los resultados de la aplicación de la técnica aludida a las muestras de los perfiles. Los óxidos metálicos están dados en tantos por ciento en peso, al igual que la pérdida por calcinación, materia orgánica y composición granulométrica. Las razones entre los óxidos están expresadas por el cociente entre los moles correspondientes. La acidez viene medida en unidades de pH.

TABLA II  
RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL PERFIL 1

|   | Roca fresca | Roca alterada | Capa superior |
|---|-------------|---------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub> .....  | 57,65       | 63,29         | 67,57         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....                                   | 0,18        | 0,04          | 0,07          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 17,40       | 18,21         | 18,42         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 5,88        | 6,11          | 5,21          |
| MnO .....   | 0,07        | 0,13          | 0,16          |
| CaO .....   | 0,54        | 0,39          | 0,10          |
| MgO .....   | 2,58        | 1,57          | 0,87          |
| K <sub>2</sub> O .....  | 4,69        | 2,54          | 2,47          |
| Na <sub>2</sub> O .....   | 0,73        | 0,73          | 0,55          |
| Materia orgánica .....  |             | 0,50          | 2,35          |
| Pérdida por calcinación .....   | 7,72        | 7,24          | 7,79          |
| RAZONES MOLARES:  |             |               |               |
| SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....               | 5,63        | 5,91          | 6,24          |
| SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                | 4,55        | 4,87          | 5,23          |
| SiO <sub>2</sub> / K <sub>2</sub> O .....                             | 21,30       | 39,10         | 43,0          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 4,74        | 4,67          | 5,19          |
| Bases / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                           | 0,60        | 0,37          | 0,26          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / MgO .....                            | 0,58        | 0,98          | 1,62          |
| MgO / Na <sub>2</sub> O .....   | 5,48        | 5,75          | 2,43          |
| Na <sub>2</sub> O / CaO .....   | 1,18        | 0,97          | 5,10          |
| K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O .....                            | 4,77        | 3,98          | 2,96          |

TABLA III  
RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL PERFIL 2

|   | Roca fresca | Capa superior |
|---|-------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub> .....  | 57,88       | 61,01         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....                                   | 0,38        | 0,14          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 16,44       | 14,73         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 8,35        | 4,96          |
| MnO .....   | 0,11        | 0,08          |
| CaO .....   | 1,84        | 0,38          |
| MgO .....   | 1,30        | 1,53          |
| K <sub>2</sub> O .....  | 4,62        | 3,35          |
| Na <sub>2</sub> O .....   | 0,68        | 0,86          |
| Materia orgánica .....  |             | 1,47          |
| Pérdida por calcinación .....   | 3,40        | 7,61          |
| RAZONES MOLARES:  |             |               |
| SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....               | 5,84        | 7,04          |
| SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                | 4,41        | 5,80          |
| SiO <sub>2</sub> / K <sub>2</sub> O .....                             | 19,60       | 26,80         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 3,10        | 4,65          |
| Bases / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                           | 0,58        | 0,55          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / MgO .....                            | 1,63        | 0,82          |
| MgO / Na <sub>2</sub> O .....   | 2,96        | 2,74          |
| Na <sub>2</sub> O / CaO .....   | 0,33        | 2,05          |
| K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O .....                            | 4,46        | 2,73          |

TABLA IV  
RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL PERFIL 3

|   | Roca fresca | Capa superior |
|---|-------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub> .....  | 58,45       | 58,30         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....                                   | 0,22        | 0,16          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 18,32       | 19,56         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 7,13        | 7,11          |
| MnO .....   | 0,10        | 0,11          |
| CaO .....   | 0,71        | 0,44          |
| MgO .....   | 2,61        | 1,85          |
| K <sub>2</sub> O .....  | 3,38        | 3,63          |
| Na <sub>2</sub> O .....   | 1,71        | 0,79          |
| Materia orgánica .....  |             | 0,70          |
| Pérdida por calcinación .....   | 2,57        | 7,85          |
| RAZONES MOLARES:  |             |               |
| SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....               | 5,32        | 0,57          |
| SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                | 4,28        | 4,11          |
| SiO <sub>2</sub> / K <sub>2</sub> O .....                             | 27,10       | 25,20         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 4,10        | 4,31          |
| Bases / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                           | 0,62        | 0,44          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / MgO .....                            | 0,69        | 0,97          |
| MgO / Na <sub>2</sub> O .....   | 2,41        | 3,60          |
| Na <sub>2</sub> O / CaO .....   | 2,10        | 1,62          |
| K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O .....                            | 1,33        | 3,02          |

TABLA V  
RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL PERFIL 4

|   | Roca fresca | Capa superior |
|---|-------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub> .....  | 4,36        | 58,10         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....                                   | 0,08        | 0,26          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 0,09        | 17,86         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                  | 2,57        | 8,07          |
| MnO .....   | 0,03        | 0,10          |
| CaO .....   | 26,81       | 0,49          |
| MgO .....   | 19,63       | 1,48          |
| K <sub>2</sub> O .....  | 0,07        | 5,13          |
| Na <sub>2</sub> O .....   | 1,44        | 0,72          |
| Materia orgánica .....  |             | 2,28          |
| Pérdida por calcinación .....   | 45,00       | 8,07          |
| RAZONES MOLARES:  |             |               |
| SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....               | 80,70       |               |
| SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                | 2,91        | 4,31          |
| SiO <sub>2</sub> / K <sub>2</sub> O .....                             | 98,20       | 17,50         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 0,56        | 3,59          |
| Bases / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                           | 62,50       | 0,50          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / MgO .....                            | 0,03        | 1,37          |
| MgO / Na <sub>2</sub> O .....   | 20,90       | 3,16          |
| Na <sub>2</sub> O / CaO .....   | 0,05        | 1,33          |
| K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O .....                            | 0,03        | 4,69          |

TABLA VI  
ANALISIS GRANULOMETRICO Y ACIDEZ

| Número de perfil      | Arena gruesa | Arena fina | Limo | Arcilla | pH  |
|-----------------------|--------------|------------|------|---------|-----|
| 1 Roca alterada ..... | 7,5          | 35,5       | 29,5 | 22,2    | 5,8 |
| 1 Capa superior ..... | 14,0         | 24,8       | 30,8 | 23,0    | 5,9 |
| 2 Capa superior ..... | 12,6         | 28,5       | 43,7 | 10,6    | 5,9 |
| 3 Capa superior ..... | 10,5         | 37,4       | 17,5 | 17,5    | 6,4 |
| 4 Capa superior ..... | 4,0          | 27,5       | 44,0 | 18,8    | 5,4 |

### DISCUSION

La alteración de este tipo de rocas ha sido muy diferente a la del granito. HENIN y cols. (1953) estudiaron la alteración provocada en rocas no ígneas de análoga manera que en las ígneas, siendo la composición física la más afectada por el fenómeno.

Los materiales resultantes del ataque de la roca son rápidamente arrastrados, por lo que, salvo en las zonas llanas, es difícil encontrar capa de roca alterada.

PERFIL 1.—Ya se ha señalado la posibilidad de que este perfil esté contaminado por material de arrastre silíceo. En efecto, el enriquecimiento en sílice del suelo en relación con el menor contenido en la roca alterada, puede tener ese origen. La movilidad del Al en relación con el Fe es escasa. En la capa superior, éste se arrastra con más facilidad que el Al. No se observa gran variación en la cantidad de fracción fina ni existe incremento apreciable de materia volátil. Las movilidades de las bases frente a los sesquióxidos y del Mg frente al Fe son indudables, pero no altas. La alteración no ocasiona apenas variación en las cantidades relativas de Na y Mg, pero el arrastre en la capa superior elimina preferentemente al Mg. Exactamente igual ocurre con el Ca respecto al Na. La movilidad del K es siempre mayor que la del Na. El ataque ocasiona un empobrecimiento en P y un enriquecimiento en Mn.

En general, las variaciones relativas no son altas ni demasiado significativas. El K parece ser el más móvil, por no existir minerales que lo retengan. El lavado origina un material en el que las bases son eliminadas.

PERFIL 2.—En este perfil es mucho más probable que exista aporte de diversas fuentes, a causa del heterogéneo basamento rocoso, alta pluviosidad y carácter montañoso y accidentado en extremo. La proximidad de cuarcitas y la ayuda de las condiciones naturales explican el neto, aunque no acusado, enriquecimiento en sílice. Bajo estas condiciones climatológicas (humedad alta y temperatura media) el intenso lavado dejó un material pobre en bases, pues apenas se aprecia variación en el contenido de éstas; el Ca puede proceder de las concentraciones calcáreas locales. El Fe, normalmente bastante fijo, se moviliza con respecto al Mg. El K y el Ca también son eliminados, así como el P y Mn. El ataque de la pizarra implica una ganancia de material volátil no muy alta. Químicamente, los cambios no son muy grandes.

PERFIL 3.—Las condiciones de meteorización son más suaves que en los perfiles anteriores. Y, en efecto, los cambios son menores. Pero hay algo destacable: aunque en poco grado, la movilidad del  $\text{SiO}_2$  es mayor que la del Al, K y, en general, los sesquióxidos. Comprobada la escasa solubilidad de los silicatos ordinarios, no cabe duda que ha habido un ataque químico que ocasionó la liberación del  $\text{SiO}_2$  en forma soluble, como coloide. La causa está en la cordierita, existente en abundancia en la roca. El ataque de este mineral da lugar a la liberación de  $\text{SiO}_2$ , ganancia de agua y  $\text{K}_2\text{O}$ , y pérdida de Mg. Todo esto se puede justificar aquí y creemos que esa es la causa de la aparente inversión del proceso de enriquecimiento en  $\text{SiO}_2$  hasta ahora encontrado.

PERFIL 4.—Las grandes variaciones de índole química no son, realmente, un índice de variación mineralógica. Los carbonatos de Ca y Mg se han disuelto y los minerales existentes en muy pequeña cantidad en la roca, óxidos de Fe, arcillas y cuarzo libre, no han sufrido proceso de meteorización más importante que una concentración ordinaria. Sin embargo, parece que ha habido un enriquecimiento relativo de Al con relación al  $\text{SiO}_2$ , no explicable solamente por aportes exteriores de las rocas vecinas. Debido a la acidez de la capa superior, semejante a la de los perfiles anteriores, medimos simultáneamente la acidez de la capa en inmediato contacto con la roca, dando un  $\text{pH}=7$ , que admitimos como el más próximo existente durante la disolución de la roca. Bajo estas condiciones parece que la sílice se disuelve y elimina más fácilmente que el Al.

En resumen, deducimos:

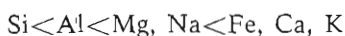
Perfil 1.—El perfil desarrollado sobre una pizarra arcillosa se caracteriza por una débil meteorización química. Hay una ligera tendencia hacia la evolución a un material silico-alumínico pobre en bases. La eliminación sigue el orden decreciente



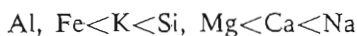


La capa superior (influencia de factores edáficos) se caracteriza por una mayor movilidad del Ca y Mg con respecto al Na.

Perfil 2.—Si las condiciones del clima provocan un aumento de la pluviosidad, las pizarras, no muy distintas químicamente a las del perfil 1, evolucionan hacia materiales más ricos aún en  $\text{SiO}_2$  y materias volátiles. El orden de eliminación es el siguiente

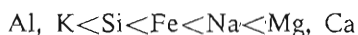


Perfil 3.—La influencia de la roca madre, pizarra con alto grado de metamorfismo, es ahora notable, cualitativamente, en lo que respecta a la evolución. Se elimina la sílice antes que el Al y el K. El orden es ahora



La variación química sigue siendo escasa, contrariamente a la mineralógica. La alteración de la cordierita y minerales acompañantes de alta temperatura rige estas variaciones. Se produce una ganancia de materia volátil.

Perfil 4.—La abundancia de las fracciones más finas ya indica que casi todo el material procede de la roca carbonatada, sin más alteración mineralógica que la desaparición de los carbonatos. La alteración química es, contrariamente, profunda. El orden de movilidad encontrado es



La sílice, al igual que antes, se solubiliza en parte.

## CONCLUSIONES

1.º En pizarras más o menos arcillosas y silíceas, con metamorfismo poco acusado, de tipo regional, hay una ligera tendencia a la acumulación de Si y Al, en clima húmedo y templado. Las variaciones químicas y mineralógicas son pequeñas. Con una pluviosidad elevada, el hierro resulta tan móvil como las bases (fenómeno no corriente).

2.º Si las pizarras han sufrido metamorfismo térmico acusado, cornubianitas y pizarras mosqueadas, la movilidad del silicio aumenta; esta movilidad es superior a la del potasio, hierro y aluminio. La alteración química no es grande, al contrario que la mineralógica.

3.º Por lo que respecta a la alteración, las rocas carbonatadas y metamórficas presentan analogía: ambas sufren una alteración profunda. Sin embargo, en las carbonatadas es de índole química y en las metamórficas de índole mineralógica. El potasio sólo es superado por el aluminio en lo que se

refiere a movilidad escasa. La del hierro (movilidad) es superior a la del silicio, tal vez por encontrarse libre su hidróxido (en el caso anterior, el hierro se encontraba combinado, en su mayoría, como silicato).

4.º Pese a la pérdida relativa de bases y ganancia de sílice y sesquióxidos en general, la composición química de los productos finales de alteración de las distintas rocas de la Sierra de Francia, incluyendo los granitos, bajo un clima general húmedo y templado, es muy semejante. La evolución no es uniforme, pero conduce a resultados análogos.

#### BIBLIOGRAFIA

- HENIN, S.; ROBINET, O. y DU ROUCHET, M. J.: Com. Ren. Acad. Sc., 1437-1439 (1953).  
SAAVEDRA ALONSO, J.; MARTÍN PATINO, M.ª T y ARRIBAS MORENO, A.: *Studia Geológica*, I. Salamanca, 1970.  
SCHMIDT - THOME, P.: *Publicaciones extranjeras sobre geología de España (C.S.I.C.)*. Madrid, 1950.

(Recibido el 23-IV-71)