

## GEOQUIMICA DEL BORO EN LAS ILLITAS TRIASICAS DE LA CORDILLERA IBERICA

Por A. YÉBENES \* y A. ALCALDE \*\*

### RESUMEN

A partir de varias columnas levantadas a lo largo de la rama castellana de la Cordillera Ibérica, se ha realizado un muestreo de los niveles lutíticos, con el fin de analizar el contenido en boro de las illitas.

Se estudian las variaciones verticales y horizontales de estos contenidos, relacionándolos con cambios en la paleosalinidad de los medios deposicionales.

### RÉSUMÉ

A partir de plusieurs coupes de terrain dans la branche castillane de la Chaîne Ibérique, l'échantillonnage de niveaux lutitiques a été effectué avec le but de déterminer le bore enfermé dans les illites.

Les variations verticales et horizontales de ces contenus ont été étudiées et rapportées aux changements de la paléosalinité des différents milieux de déposition.

### ABSTRACT

A sampling of lutitic levels has been made in order to analyze the concentration of boron in illites. For this purpose, several sections along the castillian branch of the Iberian Range have been studied.

The vertical and horizontal variations of the concentration of boron are studied, relating them to changes in paleosalinity of the sedimentary environments.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la paleosalinidad de un depósito sedimentario posee un gran interés, no sólo desde un punto de vista puramente académico, sino

(\*) Dpto. Petrología y Geoquímica. C.S.I.C. Madrid.

(\*\*) Ibergesa, Madrid.

también por su posible utilización en reconstrucciones paleogeográficas, correlaciones, etc... y sus aplicaciones en el campo de la prospección petrolífera y minera.

El método de uso más corriente para la determinación de paleosalinidades es el paleoecológico, que tiene el inconveniente de ser aplicable únicamente en depósitos fosilíferos; además, su utilización en materiales de edad anterior al Terciario es discutible. El análisis de facies también puede emplearse para determinar la paleosalinidad, pero precisamente las facies arcillosas suelen ser las de mayor dificultad de interpretación.

Por todo ello, la utilización de métodos geoquímicos puede llegar a adquirir gran importancia, bien como complemento de los citados anteriormente, o bien como su sustitutivo en aquellos casos en que no sean aplicables. El contenido en boro de las illitas parece ser un indicador particularmente sensible de la salinidad.

El Trías de la Cordillera Ibérica, por su escaso contenido en fósiles y su sucesión litológica variada, se presenta como un lugar apropiado para la utilización de este método.

## BASES DEL MÉTODO

En 1932, GOLDSCHMIDT y PETERS descubrieron que el boro se concentra preferentemente en sedimentos marinos. Desde entonces, y especialmente a partir de la década de los cincuenta, numerosos investigadores han estudiado el comportamiento geoquímico de este elemento, sobre todo en sedimentos arcillosos, y su posible utilización como indicador de paleosalinidad.

La illita es capaz de adsorber el boro de las aguas en una cantidad proporcional al contenido en dicho elemento de las mismas. Posteriormente el boro adsorbido pasa a formar parte de las capas tetraédricas sustituyendo al silicio y aluminio de las mismas, adquiriendo una posición muy estable. Los demás minerales de arcilla también son capaces de adsorber el boro, pero en proporciones mucho menores.

Si admitimos que existe una relación directa entre la cantidad de boro presente en las aguas y su salinidad, premisa no siempre cierta, podremos deducir que el contenido en boro de la illita está directamente relacionado con la salinidad del medio en que se depositó. Sin embargo, aunque desde un punto de vista teórico, y tal como lo prueban las experiencias de laboratorio, el razonamiento es correcto, su aplicación práctica no ha sido aceptada por numerosos autores que, al obtener resultados contradictorios, han formulado diversas objeciones al método.

En efecto, la interpretación inmediata e indiscriminada de los resultados analíticos puede conducir a conclusiones erróneas, ya que existen numerosas variables, además de la paleosalinidad, que controlan el contenido en boro de una determinada muestra de arcilla. Muchas de estas variables pueden ser eliminadas mediante el empleo de una metodología adecuada. Sin embargo, quedan una serie de ellas que no son eliminables «a priori» y obligan a un estudio previo de cada caso concreto para llegar a conocer la importancia relativa de cada variable.

Los factores más importantes a analizar son los siguientes:

- Cantidad de boro heredado en las illitas detríticas, que no tiene relación con la salinidad del medio. Esta cantidad puede ser muy baja si en el

área fuente las condiciones climáticas eran húmedas o moderadas (COUCH, 1971).

- Características de la illita en cuanto a su capacidad de adsorción (cristalinidad, superficie específica...).
- Temperatura del medio deposicional. Para las temperaturas normales del medio sedimentario la influencia parece mínima, excepto en condiciones climáticas muy frías en las cuales la adsorción se ve disminuida.
- Tiempo que la illita permanece en la interfase agua-sedimento. Depende en parte de la velocidad de sedimentación. Sin embargo, el proceso de adsorción y fijación del boro en las illitas es rápido y sólo mecanismos de sedimentación muy bruscos pueden evitar que se alcance el equilibrio.
- Procesos diagenéticos y metamórficos que pueden producir cambios en el quimismo del sedimento.

#### METODOLOGÍA ANALÍTICA

Se han recogido cerca de cien muestras pertenecientes a los niveles arcilloso o margosos de las columnas estudiadas. Para la separación y análisis de las illitas hemos seguido, con ligeras modificaciones, el esquema expuesto por BOHOR y GLUSTOKER (1973), que consta de las siguientes etapas:

- Eliminación de carbonatos.
- Separación de la fracción menor de 1  $\mu$ .
- Eliminación de la materia orgánica.
- Destrucción química de los minerales de arcilla distintos de la illita.
- Determinación colorimétrica del boro según el método de SCHLEICHER y HECK (1970).

#### DESCRIPCIÓN DE LOS AFLORAMIENTOS ESTUDIADOS

Estamos de acuerdo con las ideas expuestas por VIRGILI y HERNANDO (1974), respecto a las limitaciones de la nomenclatura estratigráfica utilizada en España para el Triás, sobre todo en las zonas de borde de la cuenca. No obstante, y mientras no se resuelvan los problemas planteados, utilizaremos la nomenclatura tradicional que divide el Triás en tres unidades más o menos heterócronas: Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper. Consideramos como Röt las facies lutíticas del techo del Buntsandstein.

Se han estudiado tres columnas, a veces integradas a partir de cortes parciales, que corresponden a tres zonas de la Cordillera Ibérica (Rama Castellana) (Fig. 1).

#### *Zona de borde del Sistema Central*

Hemos estudiado el afloramiento Triásico de Cuevas de Ayllón (Soria), descrito por HERNANDO (1975).

El Buntsandstein no lo hemos muestreado completamente, limitándonos al tramo superior lutítico (Röt) y a parte del tramo arenoso subyacente.

El Muschelkalk presenta facies de borde que comienzan por areniscas y culminan con alternancias de lutitas gris-verdosas y margas dolomíticas.

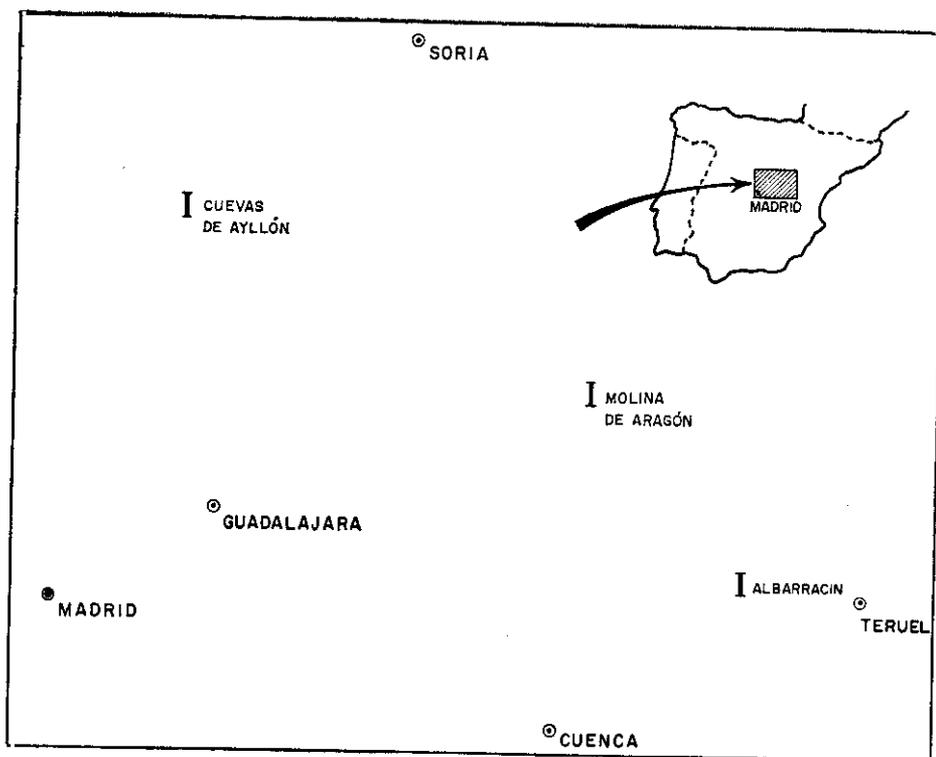


Fig. 1. Esquema de situación de los afloramientos estudiados

El Keuper presenta también facies de borde, constituidas por lutitas rojas poco yesíferas que muestran dos potentes intercalaciones de areniscas.

La columna está coronada por la formación *Dolomías tableadas de Imón* (Goy y cols. 1976), como sucede en todo el sector estudiado de la Cordillera Ibérica.

#### Zona de Molina de Aragón

Hemos muestreado el afloramiento Pérmico de Torre la Hija (Peña y Marfil, 1975) constituido por lutitas rojas y violáceas, que en la mitad inferior presentan niveles brechoides y areniscas con influencias volcánicas.

El Buntsandstein está representado por tres tramos: el inferior, constituido por conglomerados; el medio, por areniscas con una potente intercalación de conglomerados, y el superior, por lutitas (Röt). En este último tramo hemos incluido los niveles de margas y lutitas de la base del Muschelkalk.

El Muschelkalk, muestreado como el «Bunt» en las proximidades de Aragoncillo, presenta las facies típicas de este sector de Cordillera Ibérica, con un tramo inferior dolomítico de aspecto masivo y un tramo superior bien estratificado de dolomías con intercalaciones margosas.

El Keuper, muestreado en Teroleja, está formado por lutitas versicolores y niveles yesíferos muy frecuentes.

## Zona de Albarracín

El Buntsandstein, que no presenta a techo las facies de lutitas del Röt, ha sido muestreado, solamente en sus niveles más altos, en las proximidades del pueblo de Albarracín.

El Muschelkalk puede subdividirse (HINKELBEIN, 1969) en tres partes:

- Muschelkalk inferior. Constituido por dolomías, en la base algo arenosas, y margas dolomíticas. Lo hemos estudiado en el Barranco del Comedor.
- Muschelkalk medio. Formado por lutitas versicolores similares a las del Keuper. Ha sido muestreado en el citado Barranco del Comedor y en la carretera de Gea a Bezas.
- Muschelkalk superior. Puede subdividirse en un tramo inferior, «capas dolomíticas», y otro superior margoso-dolomítico, «capas de Royuela». Las «capas dolomíticas» han sido muestreadas en la carretera de Gea a Bezas, y las «capas de Royuela», en dicha carretera y junto a Royuela.

El Keuper, con sus facies típicas, ha sido estudiado en las proximidades de Royuela.

## RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

En las tablas 1, II y III ofrecemos los resultados del análisis químico del boro de las illitas. En la figura 2 estos resultados quedan representados junto a sus correspondientes columnas litológicas.

La cantidad de boro heredado en las illitas no debió superar las 125 ppm. y además dicha cantidad no debió sufrir grandes variaciones a lo largo del Triás, como lo demuestra el hecho de que las illitas de facies fluviales del Pérmico, Buntsandstein y Keuper tengan contenido en boro similares.

La diagénesis sufrida por los materiales permotriásicos no ha sido intensa, como lo prueba la baja cristalinidad de las illitas del Pérmico (DE LA PEÑA Y MARFIL, 1975); en cualquier caso ha sido producida por fluidos muy relaciona-

TABLA I  
*Corte de Cuevas de Ayllón*

Muestra	Unidad	ppm. B	Muestra	Unidad	ppm. B
C-B-1	Bunt.	127	C-M-4	Musch.	361
C-B-2	Bunt.	165	C-K-1	Keuper	260
C-B-3	Bunt.	148	C-K-2	Keuper	340
C-B-4	Bunt.	163	C-K-3	Keuper	404
C-R-1	Röt	282	C-K-4	Keuper	291
C-R-2	Röt	291	C-K-5	Keuper	179
C-R-3	Röt	350	C-K-6	Keuper	140
C-R-4	Röt	225	C-K-7	Keuper	140
C-M-1	Musch.	171	C-K-8	Keuper	162
C-M-2	Musch.	281	C-K-9	Keuper	287
C-M-3	Musch.	343	C-K-10	Keuper	341

TABLA II  
*Corte de Molina de Aragón*

Muestra	Unidad	ppm. B	Muestra	Unidad	ppm. B
M-P-1	Pérmico	140	M-R-4	Röt	604
M-P-2	Pérmico	144	M-M-1	Muschel.	435
M-P-3	Pérmico	131	M-M-2	Muschel.	398
M-P-4	Pérmico	106	M-M-3	Muschel.	427
M-P-5	Pérmico	172	M-M-4	Muschel.	532
M-P-6	Pérmico	175	M-M-5	Muschel.	480
M-P-7	Pérmico	170	M-M-6	Muschel.	590
M-B-1	Bunt.	140	M-M-7	Muschel.	460
M-B-2	Bunt.	127	M-K-1	Keuper	340
M-B-3	Bunt.	138	M-K-2	Keuper	551
M-B-4	Bunt.	146	M-K-3	Keuper	473
M-B-5	Bunt.	186	M-K-4	Keuper	404
M-B-6	Bunt.	146	M-K-5	Keuper	440
M-B-7	Bunt.	178	M-K-6	Keuper	870
M-B-8	Bunt.	211	M-K-7	Keuper	628
M-B-9	Bunt.	176	M-K-8	Keuper	861
M-B-10	Bunt.	192	M-K-9	Keuper	635
M-B-11	Bunt.	221	M-K-10	Keuper	598
M-R-1	Röt	312	M-K-11	Keuper	617
M-R-2	Röt	302	M-K-12	Keuper	342
M-R-3	Röt	205			

TABLA III  
*Corte de Albarracín*

Muestra	Unidad	ppm. B	Muestra	Unidad	ppm. B
A-B-1	Bunt.	176	A-M3-5	Musch. sup.	560
A-B-2	Bunt.	129	A-M3-6	Musch. sup.	328
A-B-3	Bunt.	230	A-M3-7	Musch. sup.	570
A-M1-1	Musch. inf.	447	A-M3-8	Musch. sup.	567
A-M1-2	Musch. inf.	301	A-M3-9	Musch. sup.	580
A-M1-3	Musch. inf.	325	A-M3-10	Musch. sup.	530
A-M2-1	Musch. med.	487	A-M3-11	Musch. sup.	600
A-M2-2	Musch. med.	514	A-K-1	Keuper	540
A-M2-3	Musch. med.	286	A-K-2	Keuper	354
A-M2-4	Musch. med.	340	A-K-3	Keuper	652
A-M3-1	Musch. sup.	346	A-K-4	Keuper	480
A-M3-2	Musch. sup.	336	A-K-5	Keuper	698
A-M3-3	Musch. sup.	490	A-K-6	Keuper	537
A-M3-4	Musch. sup.	526	A-K-7	Keuper	451

dos con el medio deposicional. Por ello no creemos que haya podido influir de modo importante sobre la cantidad de boro adquirido por las illitas durante el proceso de sedimentación. Además, al haber muestreado exclusivamente los niveles de lutitas, de menor permeabilidad, se reducen los posibles efectos producidos por la circulación de fluidos meteóricos.

La cristalinidad de las illitas es en general baja. Se trata, pues, de illitas más o menos abiertas que muestran una cierta tendencia a cerrarse hacia el Buntsandstein y hacia las áreas de borde (GARCÍA PALACIOS Y LUCAS, 1976). Sin embargo, dentro de una misma unidad no hemos encontrado una relación clara entre la cristalinidad de las illitas y su contenido en boro. Esto tal vez podría indicar que la capacidad de adsorción de la mayoría de las illitas estudiadas (cristalinidad de 6 a 12) es bastante parecida, por lo que su importancia como factor controlante del contenido en boro puede considerarse, en nuestro caso, pequeña.

En los materiales estudiados no aparecen indicadores sedimentológicos que permitan inferir la existencia de bajas temperaturas en el medio deposicional y tampoco existen pruebas de que las velocidades de sedimentación hayan sido elevadas.

Hay que advertir de nuevo que sólo se han muestreado los niveles de lutitas y margas y, por tanto, las condiciones de paleosalinidad inferidas se refieren exclusivamente a las de dichos niveles.

En la figura 2 se observa la existencia de una clara tendencia a aumentar el contenido en boro de las illitas al ascender en las columnas, lo que implica un aumento progresivo de la paleosalinidad en la cuenca sedimentaria. También se observa que en el afloramiento de Cuevas de Ayllón los contenidos son menores, como corresponde a una zona de borde.

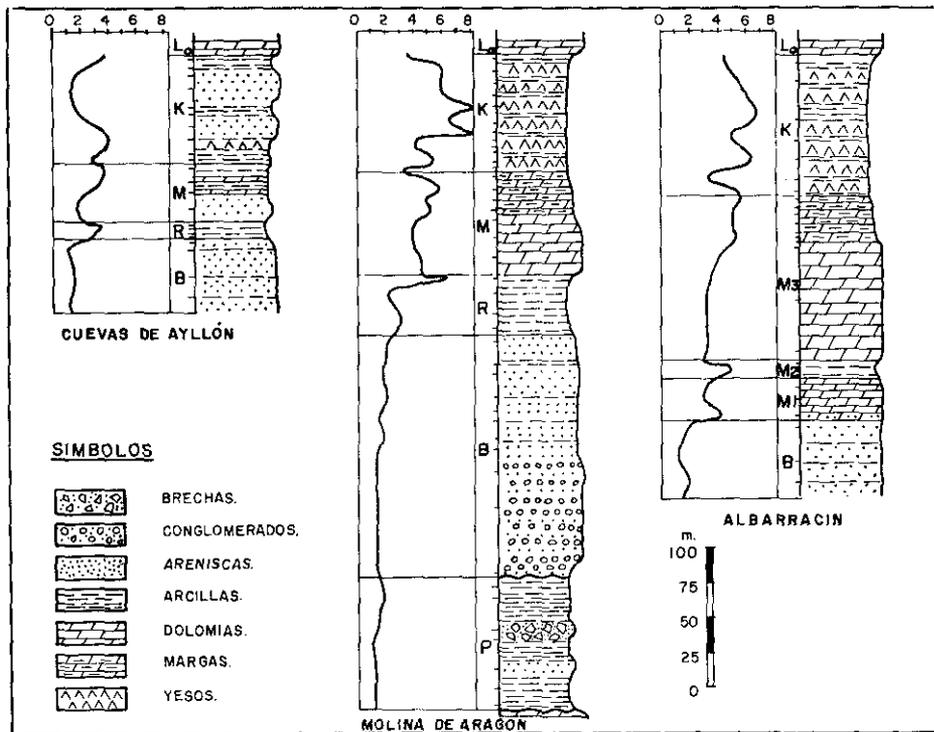


Fig. 2. Contenido en boro de las diferentes columnas estudiadas. Los valores están expresados en centenares de ppm. de boro

El contenido en boro de las illitas del Pérmico es bajo, oscilando entre 100 y 175 ppm., con una ligera tendencia a aumentar hacia el techo. Nos encontramos, por tanto, ante materiales depositados en medio continental de poca salinidad.

Las illitas del Buntsandstein (excluyendo el Röt) contienen entre 127 y 200 ppm. En general los valores se mantienen bastante constantes en el espacio, mostrando una muy ligera tendencia a aumentar de base a techo. Estos contenidos indican que la sedimentación se realizó en un medio continental. Únicamente al techo del afloramiento de Albarracín, en el que no aparecen las facies Röt, se observan valores algo más elevados, que podrían indicar ciertas influencias marinas. Los contenidos del Buntsandstein son generalmente algo más elevados que los del Pérmico y ello puede ser debido a un aumento en la salinidad del medio, o bien a un aumento en la cantidad de boro heredado.

El Röt presenta contenidos variables, en general entre 225 y 350 ppm., con una tendencia clara a aumentar de base a techo. Estos valores indican la existencia de influencias marinas claras, que hacia el techo pueden llegar a ser hipersalinas.

Los valores encontrados en el Muschelkalk inferior de Albarracín son superiores a las 300 ppm., lo que implica que la sedimentación se realizó en condiciones marinas. En la base y en el techo aparecen tendencias claras a la hipersalinidad.

Los contenidos del Muschelkalk medio son bastante variables, siendo hacia la parte media de la unidad, donde definen condiciones hipersalinas. Hacia el techo los valores disminuyen apreciablemente.

En las «capas dolomíticas» del Muschelkalk superior los contenidos oscilan alrededor de las 400 ppm., lo que indica condiciones marinas con tendencias hipersalinas, que en las «capas de Royuela» se acentúan aún más. Este hecho, muy significativo, implica que los sedimentos del Muschelkalk superior se depositaron en un medio marino con cierto grado de confinamiento y en condiciones ambientales que produjeron la aparición de tendencias hipersalinas.

Las facies de borde del Muschelkalk de Cuevas de Ayllón presentan valores claramente inferiores, aunque en la mitad superior existen influencias marinas.

El Keuper presenta contenidos muy variables, siempre superiores a las 300 ppm., alcanzando los valores más elevados de todo el Triásico. Ello implica la existencia de condiciones netamente hipersalinas. No obstante, la variabilidad de los contenidos podría indicarnos que estas condiciones no fueron uniformes y que la paleosalinidad durante la deposición del Keuper sufrió variaciones importantes, aunque por encima de los valores marinos normales, quizás debido a entradas intermitentes de aguas marinas en la cuenca de sedimentación.

En la zona de borde de Cuevas de Ayllón los contenidos son mucho menores e indican la existencia de episodios fluviales dentro de unas condiciones generales de ligera hipersalinidad.

## BIBLIOGRAFIA

- BOHOR, B. F. y GLUSKOTER, H. J. (1973): «Boron in illite as an indicator of paleosalinity». *Jour. Sed. Petrology*, vol. XLIII, núm. 4, págs. 945-956.
- COUCH, E. L. (1971): «Calculations of paleosalinities from bron and clay mineral data». *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, vol. LV, núm. 10, págs. 1829-1837.
- GARCÍA PALACIOS, M. C. y LUCAS, J. (1976): «La bassin triasique de la branche castellana de la Chaîne Ibérique: II Geochimie». *I Col. Estrat. Paleogeogr. Trias y Pérmico en España*.
- GOLDSCHMIDT, V. M. y PETERS, C. (1932): «Zur Geochimie des Bors. Pts. 1 y 2». *Akad. Wiss. Göttingen Nachr. Mathr. Math. -phys. Kl.*, Nr. 4 y 5, págs. 402-407 y 528-545.
- GOY, A.; GÓMEZ, J. J. y YEBENES, A. (1976): «El Jurásico de la rama castellana de la Cordillera Ibérica (Mitad Norte): I. Unidades litoestratigráficas». *Estudios Geológicos* volumen 32, págs. 391-423.
- HERNANDO, S. (1975): «Pérmico y Triásico de la región Ayllón-Atienza (provincias de Segovia, Soria y Guadalajara)». *Tesis doctoral Univ. Complutense. Madrid*.
- HINKELBEIN, K. (1969): «El Triásico y Jurásico de los alrededores de Albarracín». *Inst. Est. Turolenses*, vol. XLI, págs. 35-73.
- PEÑA, J. A. DE LA, y MARFIL, R.: «Estudio petrológico del Pérmico de la Cordillera Ibérica: zona de Torre la Hija (NE. de Molina de Aragón, Guadalajara)». *Estudios Geológicos*, volumen XXXI, págs. 513-530.
- SCHLEICHER, J. A. y HECK, D. B. (1970): «Alternate methods for the determination of boron in silicates». *Develop. Applied Spectroscopy*, vol. VIII, págs. 138-142.
- VIRGILI, C. y HERNANDO, S. (1974): «Datación del Triásico medio en la región comprendida entre Los Condemios y Miedes de Atienza». *Sem. Estratigrafía* núm. 9, págs. 1-9.