

# Geoquímica de los isótopos de azufre, carbono, oxígeno y plomo de Las mineralizaciones del paleozoico del Macizo de la Demanda (Burgos-La Rioja, España)

*Sulphur, carbon, oxygen and lead isotope geochemistry of the Ore deposits hosted by the paleozoic from the sierra de la Demanda (Burgos-la Rioja, España)*

J.A. Ibáñez, F. Velasco y A. Pesquera

Departamento de Mineralogía y Petrología Universidad del País Vasco. Apartado 644 48080 Bilbao

## ABSTRACT

Several Pb-Cu-Zn orebodies of different size and origin occur in Paleozoic materials from the Demandas8if, dlat has been mainly deformed by the Hercynian orogeny. Most of the here studied deposits are vein type, except Carmina mine that may account for a sedex type one. All of them are hosted by Upper Cambrian shales and sandstones. The isotopic and geologic features of these orebodies suggest that there have been different ages of mineralization, and that hydrothermal solutions came from a similar source related to the Paleozoic sedimentary sequence.

**Key words:** Stable isotopes, Pb isotopes, ore deposits, Paleozoic, Sierra de la Demanda, Spain.

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1601-1604

ISSN: 0213683X

## Introducción

El macizo de la Demanda, situado entre Burgos y La Rioja, representa un aislado enclave Paleozoico del zócalo hercynico del Norte de la Península Ibérica. En este contexto aparecen diversas mineralizaciones de Pb-Zn-Cu (Fig. 1) cuyas características mineralógicas y geológicas fueron descritas por Ibáñez *et al.*, (1993). En este trabajo se resumen algunos rasgos mineralógicos, texturales y morfológicos que ayudan a agrupar los distintos indicios mineros de la Sierra de la Demanda en dos tipos principales: estratiformes y filonianos. Posteriormente, se caracteriza la composición isotópica (S, C, O, Pb) de los principales sulfuros y carbonatos, con objeto de definir sus características geoquímicas, en orden a comprender los problemas metalogenéticos de esta región.

## Geología regional

Los materiales más antiguos que afloran en el macizo de la Demanda (Colchen, 1974) son una secuencia de niveles pizarrosos atribuidos al Precámbrico. Encima se dispone de manera discordante el Cámbrico, dividido en tres grandes conjuntos litológicos: (a) Niveles conglomeráticos con areniscas arcósicas en la base (Cámbrico Inferior); (b) Un conjunto carbonatado

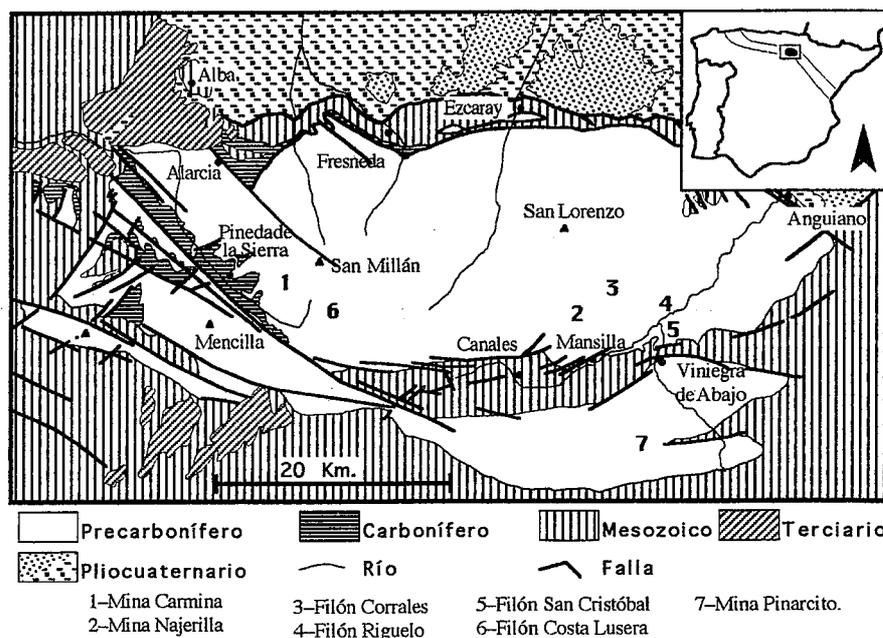


Fig. 1.- Mapa regional de la Sierra de la Demanda indicando la posición de las mineralizaciones estudiadas.

Fig. 1.- Regional map of the Sierra de la Demanda showing the location of the discussed ore deposits.

(techo del Cámbrico Inferior) y de pizarra-saltamantes oon areniscas (Cámbrico Medio); (c) Niveles de areniscas y pizallas alternantes muy potentes (Cámbrico Superior). Sobre estos sedimentos se deposita concordantemente una formación de areniscas y

pizarras (Tremadoc). Por otra parte, al NO de la Demanda aparecen en clara discordancia sobre las formaciones paleozoicas anteriores unos niveles de conglomerados, pizarras y areniscas del Westfaliense.

Desde el punto de vista tectónico, las

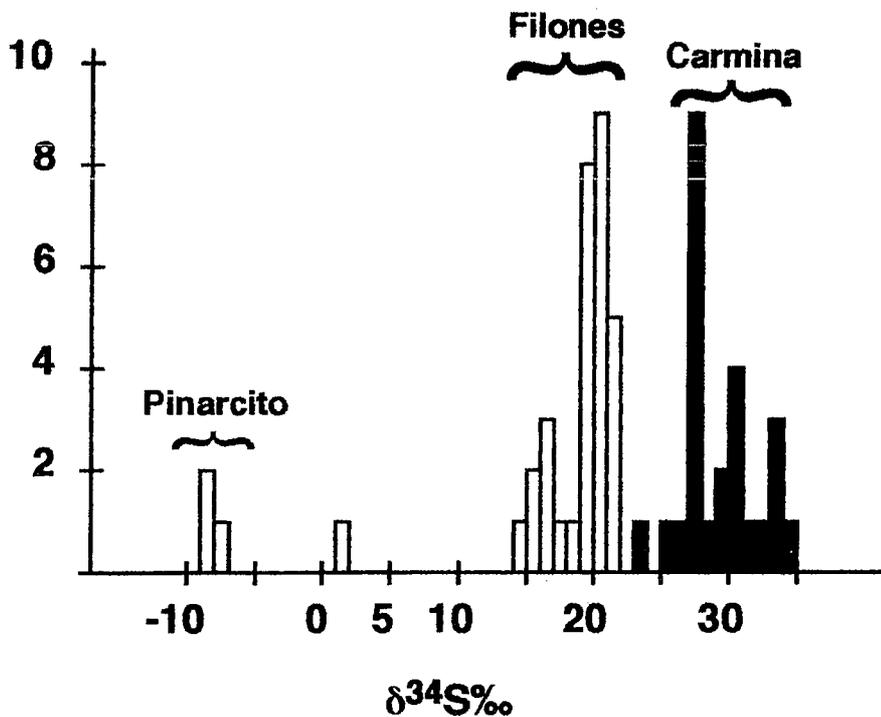


Fig. 2.- Composición isotópica de azufre ( $\delta^{34}\text{S}$ ) en las distintas mineralizaciones de la Sierra de la Demanda

Fig. 2.- Isotopic composition of sulphur ( $\delta^{34}\text{S}$ ) in the different mineralizations from the Sierra de la Demanda

formaciones paleozoicas descritas se encuentran afectadas por la orogenia hercínica y la pirenaico-alpina. La hercínica causa una deformación de tipo polifásico con una primera fase de gran importancia que desarrolla las grandes estructuras regionales de plegamiento con un eje de dirección EO y una esquistosidad regional asociada ( $S_1$ ). Durante la segunda fase de formación, se mantiene la dirección de los esfuerzos, desarrollándose cabalgamientos de bajo ángulo con vergencia N y una esquistosidad asociada de fractura  $S_2$  muy borrosa e irregular. La tercera fase de deformación hercínica se manifiesta en el centro y NO del macizo mediante pliegues isopacos angulares subvertical es a los que se asocia una esquistosidad  $S_3$  de crenulación. Tras estas etapas de deformación pre-westfalienses, se produce una deformación de fractura tardihercínica durante el Estefaniense y el Pérmico caracterizada por un gran número de fallas que afectan a las estructuras previas de deformación y que frecuentemente presentan diques de cuarzo u otras mineralizaciones.

Durante la orogenia alpina los materiales precámbricos y paleozoicos se comportaron como un zócalo rígido que se ha deformado fundamentalmente por fracturación, mientras que los materiales mesozoicos se comportaron de un modo más plástico.

Durante el final de la primera fase de deformación hercínica y antes de la segunda se dio a escala regional un metamorfismo epizonal progresivo de bajo a muy bajo grado;

en la facies esquistos verdes y dentro de la zona de la clorita (Colchen, 1974). Este autor señala la producción de un segundo evento de metamorfismo, localizado en el sector NO del macizo, coincidente con la tercera fase de formación capaz de recrear sericita y clorita a favor de la esquistosidad  $S_3$ .

#### Mineralizaciones

**Mina Carmina:** Esta mineralización presenta una morfología tabular, encajando en materiales detriticos de la serie del Cámbrico Superior, con un espesor medio de 2m. y buzando  $60^\circ$  al sur. El contacto con las rocas encajantes es neto y concordante con la esquistosidad regional  $S_1$ . La asociación es relativamente sencilla y está compuesta principalmente por esfalerita, cuarzo, dolomita y galena con cantidades menores de pirita, marcasita, calcita y calcopirita. La mineralización tiene una estructura interna que consta de un nivel a muro compuesto predominantemente por sulfuros (esfalerita y galena) seguido de otro intensamente brechificado, en el que predomina el cuarzo. También se ha detectado una tercera asociación, en la actualidad no aflorante, en la que domina la dolomita fenosa. Dentro del cuerpo mineralizado pueden apreciarse facies bandeadas (así vez subparalelas con la esquistosidad regional) y brechoides, donde a veces se encuentran metasedimentos interlaminaados con los sulfuros. Como consecuencia de la deformación y metamorfismo regio-

nal, la minemlización puede mostrar pliegues, estructuras porfiroclásticas, foliación, estructuras C-S, boudinage, y otros efectos de cizalla. Tales hechos se manifiestan también a escala microscópica, además de procesos de recristalización que dan lugar a texturas granoblásticas con el desarrollo de puntos triples. Todas estas características, típicas de algunos yacimientos estratiformes encajados en sedimentos afectados por metamorfismo, nos han llevado a clasificar esta mineralización como **sedex** (Ibáñez *et al*, 1994). En este caso la mineralización se habría emplazado durante la sedimentación del Cámbrico Superior. Posteriormente la deformación y el metamorfismo habrían obliterado algunos de los caracteres primario.

**Minas de Najerilla, Corrales y Riguelo:** Estos tres yacimientos, donde predomina la asociación Pb-Cu, encajan en areniscas y pizarras del Cámbrico superior a lo largo de una dirección E-O. Presentan una morfología filoniana irregular, constituida dentro de cada indicio minero por pequeños filoncillos que se unen entre sí para formar en ocasiones otro de mayor potencia. Sus principales características son:

^ **Mina Najerilla:** filones con una dirección de  $N125-140^\circ E$  y buzamiento medio  $65^\circ SO$ . Como minerales principales presenta galena, siderita y cuarzo.

^ **Filón Corrales:** se trata de un filón de dirección estimada  $N45^\circ E$  y 100 m. de corrida. La mineralogía más frecuente es galena, pirita, calcopirita, gersdorffita, cuarzo y dolomita.

^ **Filón Riguelo:** un filón de dirección  $N140-150^\circ E$ , buzando  $60^\circ$  al SO y con una corrida aproximada de 125 m. La mineralogía mayoritaria está formada por calcopirita, boumonita, ullmanita, galena, cuarzo y siderita. Las tres mineralizaciones parecen haberse depositado mediante un mecanismo de relleno de fracturas abiertas o de brechas tectónicas, que se desarrollan en areniscas más o menos silicificadas sin apenas deformación. Además de un mismo control estructural (Ibáñez *et al*, 1995) presentan una secuencia paragenética común con caracteres muy similares que responden al siguiente esquema general: una primera etapa en la que se depositan fases ricas en Si-Fe (qz, cal, py, micas); una segunda etapa de Fe-Cu±Zn (py, cpy, sf, tetr, ±gers); una tercera y última en la que se forman algunas fases reemplazantes de Pb (gal±bour). De acuerdo con los datos geológicos puede considerarse un origen común para estos indicios, emplazándose en fracturas ligadas a la orogenia hercínica.

**Filones de San Cristóbal y Costa Lusera:** Ambos indicios encajan en cuarcitas y pizarras del Cámbrico Superior. Ambos consisten

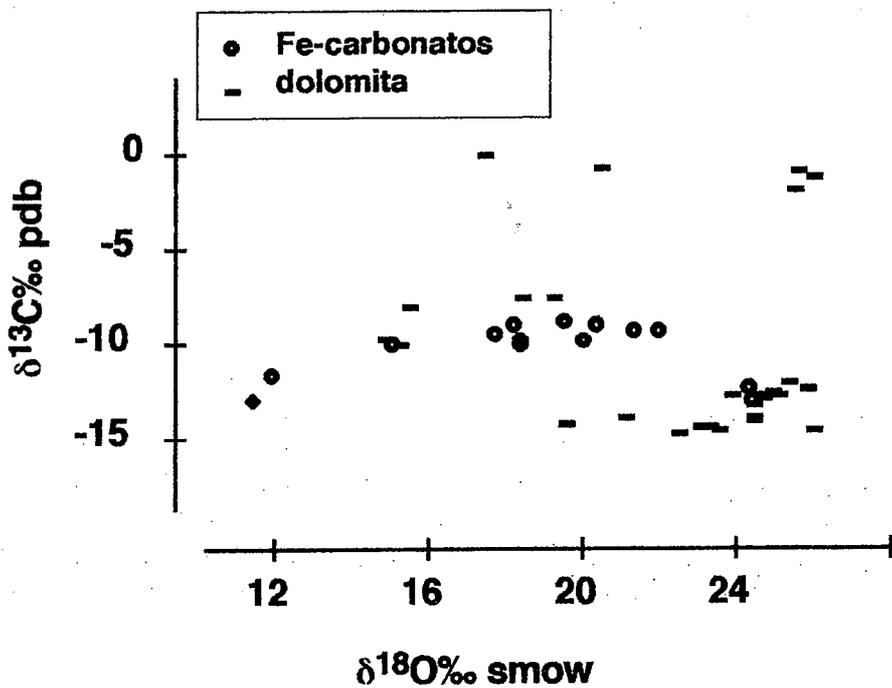


Fig. 3.- Composición isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{pdb}}$ ) y oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}}$ ) para los carbonatos de las mineralizaciones de la Sierra de la Demanda

Fig. 3.- Isotopic composition of carbon ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{pdb}}$ ) and oxygen ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}}$ ) in carbonates from the Sierra de la Demanda mineralizations

en filones subverticales de dirección EWO, con un mismo tipo de mineralización compuesta mayoritariamente por barita y galena.

^ Filón San Cristóbal: la mineralización se encuentra en una zona brechificada, con una corrida aproximada de 40 m. La zona tectónica coincide con la chumela de un pliegue anticlinal, localizándose la mineralización a favor de fracturas en los niveles cuarcíticos y pizarrosos. La galena, junto con calcopirita minoritaria, aparece como cristales idiomorfos dispersos en la ganga de barita y cuarzo.

^ Filón Costa Lusera: el cuerpo mineralizado se dispone subverticalmente a lo largo de unos 100 m. de corrida dentro de una falla de rumbo EO y con un espesor variable de 25 a 50 cm. Está formado por dos tipos de facies, una masiva de barita con cuarzo dentro de la que se encuentra la galena en venillas o dispersa, y que lateralmente pasa a otra brechiforme en la que se incluyen además fragmentos del esquisto encajante. Aunque estos indicios están geográficamente muy separados, pueden ser agrupados tanto por suparagénesis como por sus rasgos geológicos, pudiéndose destacar que no se encuentran visiblemente afectados por la deformación y el metamorfismo hercínico.

Mina Pinarcito: Se trata de un indicio de tipo Pb-Cu, formado por vanos filoncillos en-

tre cruzados de cuarzo de espesor centimétrico, que abarcan un paquete de 2 m de espesor y 150 m de corrida en pizarras negras situadas entre cuarcitas del Cámbrico Superior. La dirección media de esta mineralización es aproximadamente N20°E, buzando 65° al SO. La paragénesis está compuesta por cuarzo y calcita acompañados de sulfuros (galena, pirita, calcopirita y esfalerita). Al microscopio predomina la textura brechoide, encontrándose los fragmentos formados por clastos de sulfuros, cuarzo y esquisto que se disponen de manera elongada según la foliación. La pirita en ocasiones adopta hábito euhédrico o framboidal, desarrollando texturas en atolón.

#### Estudios isotópicos

*Isótopos de azufre:* Los análisis de azufre, efectuados con muestras representativas de sulfuros y sulfatos (n=58) repartidos entre las distintas mineralizaciones descritas (Fig. 2), permiten apreciar tres rangos composicionales:

1) Mineralización sin sedimentaria de mina Carmina presenta contenidos isotópicos de  $\delta^{34}\text{S}$  relativamente homogéneos, oscilando entre 23 y 34‰, centrados en torno a 30‰, aproximadamente coincidiendo con la composición del sulfato marino en el Cámbrico. Estos valores positivos y altos sugieren,

asumiendo para esta mineralización un origen sedex, una fuente de azufre a partir de fluidos connatos contenidos en los sedimentos cámbricos, verificándose una reducción térmica. La temperatura de equilibrio, estimada para los pares esfalerita y galena, se sitúa en torno a los 200°C (Ibññez *et al.*, 1994).

2) Para los filones Lusera, San Cristóbal, Najerilla, Corrales y Riguelo, los contenidos isotópicos varían entre 14 y 21‰, con la mediana en 20‰. Estos valores, igual que en el caso anterior, son relativamente pesados y podrían señalar un origen para el azufre ligado a los sedimentos cámbricos encajantes (Ibññez *et al.*, 1995).

3) En la mineralización de Pinarcito los sulfuros muestran valores ligeros ( $\delta^{34}\text{S} = -8,1\%$ ) que, a pesar de las escasas datos disponibles, podrían sugerir una reducción de sulfatos a  $\text{H}_2\text{S}$  por acción bacteriana, o bien, una reducción termoquímica a partir de la materia orgánica contenida en las pizarras negras encajantes.

*Isótopos de carbono y oxígeno:* En las muestras analizadas (n=33) los contenidos isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{pdb}}$  (Fig. 3) oscilan entre -15 y -8‰, indicando la incorporación a los fluidos de carbono ligero, derivado de la oxidación de la materia orgánica contenida en los sedimentos durante el metamorfismo o por el paso de los fluidos hidrotermales. Tanto las dolomitas como los carbonatos ricos en hierro muestran un empobrecimiento en  $^{18}\text{O}$  ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{pdb}}$  desde -19 hasta 4,6‰); estas diferencias en el fraccionamiento del oxígeno probablemente se encuentren relacionadas con variaciones en las temperaturas de depósito.

*Isótopos de plomo:* Los contenidos isotópicos en  $^{208/204}\text{Pb}$ ,  $^{207/204}\text{Pb}$  y  $^{206/204}\text{Pb}$  para las galenas analizadas (n=13), permiten distinguir tres poblaciones diferentes (Fig. 4), situadas aproximadamente sobre la curva correspondiente al modelo de Cumming y Richards (1975). Esto indica probablemente que el plomo procede de una misma reserva, compuesto por materiales de la corteza superior sometidos a múltiples reciclados; los datos describen una trayectoria subparalela a la correspondiente de la Corteza Superior, en el modelo Plumbotectónico de Zartman y Doe (1981). La población menos radiogénica, formada por los datos de Mina Carmina, se localiza en el centro del campo correspondiente a la "huella cámbrica" (Velasco *et al.*, 1992). Los datos correspondientes a las mineralizaciones filonianas se distribuyen según dos subgrupos cada vez más radiogénicos. Ambos grupos se sitúan dentro del campo "hercínico" definido por las mineralizaciones estratiformes y filonianas relacionadas con glaucofitos e hidrotermalismo en el paleozoico del oeste de Eu-

ropa (Brevart *et al.*, 1982; Velasco *et al.*, 1996). De este modo, se puede proponer para el plomo una derivación a partir de una única fuente, pero en diferentes etapas, dada la proximidad geológica y geográfica entre las diversas mineralizaciones estudiadas.

**Conclusiones**

El conjunto de datos geológicos, mineralógicos e isotópicos apuntan hacia una historia metalogenética común para esta región que incluye dos periodos principales de depósito: (1) mineralizaciones Zn-Pb de tipo sedex durante la sedimentación cámbrica; (2) rellenos filonianos, principalmente de Pb-Cu, ligados a la fracturación tardi-hercínica. Mientras que en el primer caso los fluidos estuvieron relacionados con procesos diagenéticos y/o circulación de aguas de procedencia marina, el hidrotermalismo filoniano probablemente tenga que vincularse a los procesos de deformación y metamorfismo ocurridos en la serie paleozoica encajante. Con todo, se puede insinuar un origen común para los metales, dentro de un mismo ciclo o tendencia evolutiva

**Referencias**

Colchen, M. (1974). Mem IGME 85, I y II, 436 pp.  
 Cumming, G.L. Richards, J.R. (1975). Earth Planet. Sci. Lett. 28, 155-171  
 Ibañez, J.A. Velasco, F. y Pesquera, A. (1993). Bol. SEM. Vol 16-1, 59-60.  
 Ibañez, J.A. Velasco, F. y Pesquera, A. (1994). Bol. SEM. Vol 17-1, 176-177.  
 Ibañez, J.A. Velasco, F. y Pesquera, A. (1995). Bol. SEM. Vol 18-2, 19-20.  
 Stacey, J.S., Kramers, J.D. (1975) Earth Planet. Sci. Lett. 26, 207-221.  
 Velasco, F. Pesquera, A. y Herrero, J.M. (1996). Mineral. Deposita 31, 8492.  
 Zartman, R.E. Doe, B.R. (1981). Tectonophysics 75, 135-162.

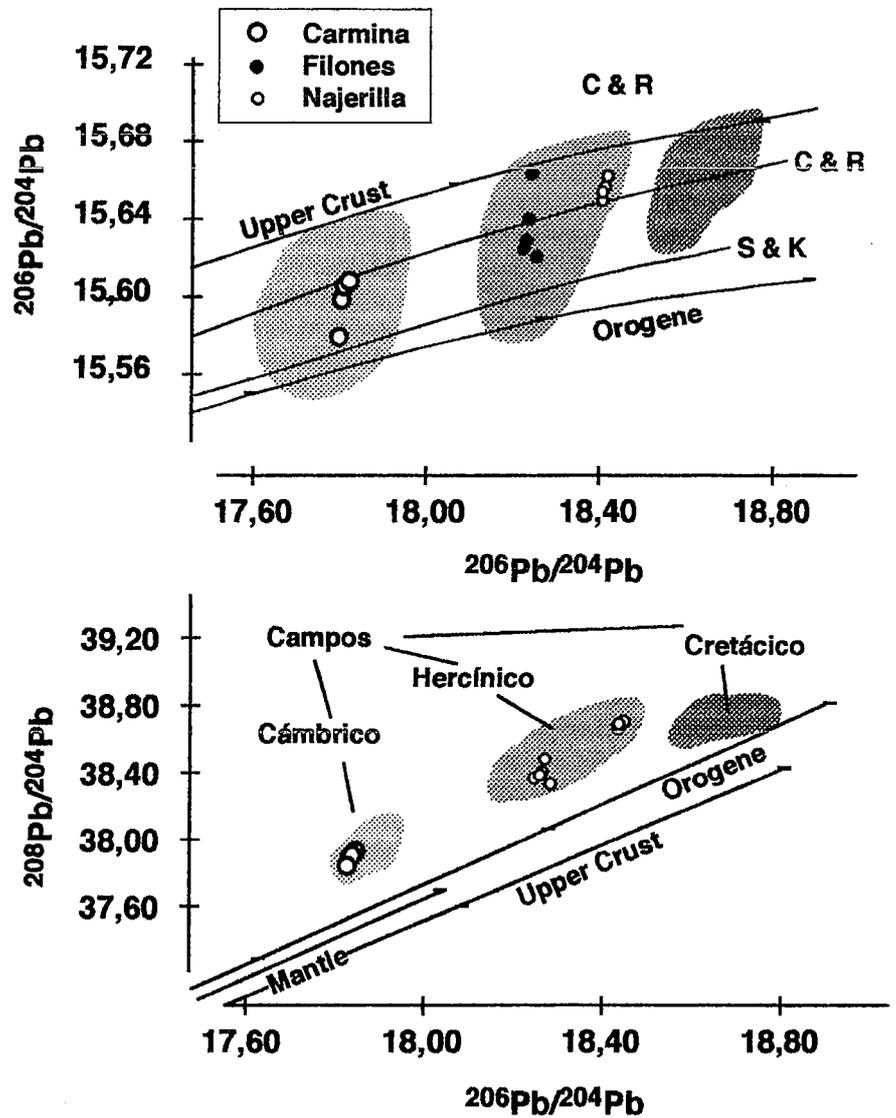


Fig. 4.- Diagrama mostrando la composición isotópica de plomo de las galenas de la Sierra de la Demanda. (C & R = Cumming and Richards, 1975; S & K = Stacey and Kramers, 1975)

Fig. 4.- Diagrams showing the lead isotope composition of galenas from Sierra de la Demanda. (C & R = Cumming and Richards, 1975; S & K = Stacey and Kramers, 1975).