

RELACION ENTRE LOS PARAMETROS CRISTALINOS DE LA CELESTINA Y SU CONTENIDO EN BARIO

R. Arana (*) y C. Pérez Sirvent (*)

RESUMEN

Se han estudiado por difracción de rayos X y análisis químico 26 muestras seleccionadas de celestina correspondientes a cuatro mineralizaciones de estroncio en la zona oriental de las Cordilleras Béticas (provincias de Murcia y Almería).

Estas muestras presentan una serie isomorfa continua en el sistema $\text{SrSO}_4\text{-BaSO}_4$, sólo en el intervalo de 0 a 10% de BaO, con un pequeño aumento en los parámetros de la celdilla unidad a, b, c y V. Las dimensiones de la celdilla rómbica se calcularon mediante ajuste por mínimos cuadrados. De esta forma se obtienen las siguientes ecuaciones por regresión lineal: $a = 8.353 + 7.728 \cdot 10^{-3} x$, $b = 5.352 + 9.362 \cdot 10^{-4} x$, $c = 6.871 + 1.316 \cdot 10^{-3} x$ y $V = 307.600 + 0.1997 x$, donde x es el tanto por ciento en BaO.

PALABRAS CLAVE: Celestina, Parámetros reticulares, Contenido en bario, Cordilleras Béticas.

ABSTRACT

26 selected samples of celestite minerals belonging to four strontium mineralizations in the eastern part of the Cordillera Bética (Murcia and Almería provinces) are studied by X-ray diffraction and chemical analysis.

These samples show a continuous isomorphous series in the $\text{SrSO}_4\text{-BaSO}_4$ system only in the range 0-10% BaO, with a small increase in the cell lattice parameters a, b, c, and V. The orthorhombic cell dimensions were calculated by the least squares method. In this manner we have obtained the following equations by linear regression: $a = 8.353 + 7.728 \cdot 10^{-3} x$, $b = 5.352 + 9.362 \cdot 10^{-4} x$, $c = 6.871 + 1.316 \cdot 10^{-3} x$, and $V = 307.600 + 0.1997 x$, where x is the BaO tenor in porcentaje.

KEY WORDS: Celestite, Lattice parameters, Tenor in barium, Betic Cordillera.

Introducción

Existe una marcada diferencia entre el intervalo de composición para el sistema BaSO_4 (barita) - SrSO_4 (celestina), según se trate de muestras artificiales o naturales. En el primer caso, los resultados experimentales muestran que existe una solución sólida continua entre ambos términos, lo que ha propiciado el estudio de la variación de numerosos parámetros cristalinos con la composición química, tales como la densidad, índices principales de refracción, ángulo 2V, valores de la celdilla unidad, solubilidades relativas, etc., así como la influencia del procedimiento de síntesis en algunos parámetros físico-químicos y cristalográficos del sistema. En este sentido destacan los trabajos de Hintze (1929), Ames (1961), Starke

(1964), Bostrom *et al.* (1968) y Renault (1961), entre otros.

En muestras naturales no se cumplen los supuestos teóricos de reemplazamiento continuo Sr por Ba y, en menor grado, por Ca y Pb, puesto que los contenidos medios de Sr en barita y de Ba en celestina generalmente son inferiores a un 5%. De esta forma, se encuentra una incompatibilidad natural entre ambas fases para alcanzar un mayor grado de reemplazamiento, pese a lo cual se han encontrado ocasionalmente ejemplares con porcentajes más elevados, dando lugar a las variedades baritocelstina y celestobarita (yacimiento de Lansdowne, Ontario, Canadá). En este sentido, Burkhard (1978) ha puesto de relieve la presencia de mayores intervalos de sustitución en muestras de barita y celestina de los Alpes suizos y

(*) Depart. de Geología, Facultad de Químicas y Matemáticas. Universidad de Murcia.

montañas del Jura, alcanzando hasta un 30% de SrSO_4 y BaSO_4 , respectivamente. Tras un estudio por rayos X encuentra que las fases analizadas corresponden a $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{SO}_4$ o $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{SO}_4$.

Recientemente hemos realizado el estudio de las mineralizaciones de hierro de San Ginés de la Jara (Murcia), donde la barita es el mineral más común de la ganga. Tras el análisis de numerosas muestras de diversa morfología, se encuentra una buena concordancia entre la composición química y los parámetros de la celdilla unidad (Arana y Pérez Sirvent, 1983). Las muestras de barita de este afloramiento presentan bajos contenidos en SrO (entre 0.36 y 2.35 por 100) y en CaO (entre 0.04 y 0.43 %), lo que se traduce en una leve disminución en los parámetros de la celdilla unidad. Las ecuaciones son: $a = 8.870 - 0.006 x_2 - 0.09 x_1$, $b = 5.441 + 0.038 x_2 - 0.002 x_1$ y $c = 7.140 - 0.005 x_1 - 0.004 x_2$, donde $x_1 = \% \text{SrO}$ y $x_2 = \% \text{CaO}$.

En este trabajo se realiza un estudio complementario del anterior, analizando la relación existente entre los parámetros cristalinos y el contenido en bario de 26 muestras seleccionadas de celestinas, correspondientes a varias mineralizaciones de estroncio de Almería y Murcia, de las cuales damos una breve reseña en los párrafos siguientes.

Materiales estudiados

Mineralizaciones de la Hortichuela (Fortuna, Murcia)

El yacimiento de celestina de La Hortichuela está situado a unos siete kilómetros al noroeste de Fortuna, junto a la vertiente septentrional de la Sierra de Lugas o Sierra del Lugar y a 405 metros de altitud. Las coordenadas geográficas

correspondientes son: $38^\circ 16' 06'' \text{N}$ y $1^\circ 13' 14'' \text{W}$. Geológicamente aparece próximo a los materiales cretácicos y neógenos que separan las calizas y dolomías liásicas de la Sierra de Lugas de la formación prebética meridional de La Garapacha. Se trata de una zona de gran complejidad tectónica, atribuida a distintos dominios paleogeográficos según los autores (Fallot, 1945; Azema, 1965; Jerez Mir *et al.*, 1972).

Los aspectos cristalográficos y mineralógicos de la celestina de este yacimiento se han estudiado recientemente (Alfías *et al.*, 1979; Arana, 1983) destacando la variedad de formas y la pureza de los ejemplares. Se trata del relleno de fisuras y cavidades de forma y tamaño variables en el seno de unas dolomías grises, parcialmente recubiertas por materiales heterométricos de pie de monte. La explotación se realizó en pequeñas calicatas, galerías y trincheras en un frente de unos 25 metros, con una profundidad de hasta 10 metros. En la actualidad las labores están parcialmente ocultas y sólo quedan pequeñas escombreras, de las que se pueden obtener buenos ejemplares. La celestina se encuentra en agrupaciones de cristales tabulares, prismáticos y radiados, con formas generalmente sencillas, de tonos blanco-azulados, amarillentos o incoloros y con gradación de tamaño desde la pared al centro de la cavidad. En los cristales aislados las formas más comunes son (101), (102), (210), (011) y (001). Alfías *et al.* (1979) estudian tres tipos de celestina (masiva, prismática y acicular), sin encontrar diferencias en el valor de los índices de refracción, aunque sí aparecen pequeñas variaciones en los parámetros reticulares. Destaca la elevada pureza de los ejemplares (entre 98.56 y 97.07%) y la ausencia de otros cationes. La génesis de este yacimiento parece estar conectada con una removilización de estroncio por aguas termales próximas (Arana, 1983).

Del yacimiento de La Hortichuela se han seleccionado nueve muestras, cuya composición mineralógica, junto al contenido en Sr y Ba, viene indicado en la tabla 1.

Como se aprecia en ella, la mayoría de las muestras presentan un elevado contenido en celestina, impurificada por trazas de mica, clorita y cuarzo, junto a proporciones variables de dolomita de la roca encajante o de calcita, procedente de una cristalización tardía. En este afloramiento son característicos los rellenos de fisuras y oquedades en la dolomía por crecimientos reniformes y botroidales de calcita,

TABLA 1

Composición mineralógica de las muestras de La Hortichuela

| Muestra | Sr (%) | Ba (%) | Cel | Dol | Cal | Mica | Clo | Q |
|--------------|--------|--------|-----|-----|-----|------|-----|----|
| HO-2 | 47.68 | 0.392 | MA | — | — | — | — | — |
| HO-3 | 43.93 | 0.784 | MA | Tr | E | — | — | — |
| HO-3' | 41.38 | 0.436 | MA | — | A | — | — | Tr |
| HO-4 | 39.69 | 0.161 | MA | A | Tr | — | Tr | — |
| HO-5 | 31.39 | 0.143 | MA | MA | Tr | — | — | — |
| HO-6 | 46.16 | 0.836 | MA | — | A | Tr | — | — |
| HO-7 | 31.14 | 0.169 | MA | MA | — | Tr | Tr | — |
| HO-9 | 32.74 | 0.053 | MA | Tr | MA | Tr | — | — |
| HO-10 | 46.39 | 0.133 | MA | — | — | — | — | — |

Cel, celestina; Dol, dolomita; Cal, calcita; Clo, clorita; Q, cuarzo; MA, muy abundante; A, abundante; E, escaso; Tr, trazas; —, ausente.

acompañada de pequeñas cantidades de celestina. En cuanto al bario, su contenido es siempre inferior al 1% en todas las muestras analizadas.

Mineralizaciones del Saltador (Lorca, Murcia)

Este yacimiento es el más importante de Murcia, tanto por el volumen mineralizado como por la calidad de los ejemplares de celestina. Aparece en secuencias detríticas y carbonatadas de la Unidad Saltador (Complejo Alpujárride, Zona Bética) y está formado por masas lenticulares y niveles removilizados de gran continuidad. Está situado cerca del cortijo del Saltador, en la Sierra de la Parrilla, a una altura de unos 630 metros; las coordenadas Lambert de las labores principales son $x = 767.1$ e $y = 343.2$, junto al ángulo suroeste de la hoja núm. 953 (Lorca) del mapa 1.50.000. Las labores mineras están comprendidas en una malla de unos 200×300 metros y consisten en una veintena de pequeñas canteras a cielo abierto, socavones y galerías de explotación y reconocimiento. La mineralización se instala en un tramo detrítico y carbonatado traspuesto por una serie de escamas tectónicas dentro de la Unidad Saltador. Las dolomías cebradas, típicas del Alpujárride, aparecen en la base de la mineralización profundamente alteradas y se deshacen fácilmente con la mano.

trabajo mencionado se realiza un estudio morfológico de numerosos cristales de este yacimiento.

Para el estudio químico y difractométrico se han seleccionado seis muestras de este yacimiento con una composición relativamente sencilla, tal como se observa en la tabla 2.

En relación con el yacimiento de La Hortichuela, se observan contenidos análogos en bario, mientras que la ley en estroncio es más baja, debido a la presencia de un mayor número de minerales asociados. Se ha preferido estudiar las muestras en su asociación natural, sin enriquecerlas en celestina o, incluso, analizar ésta aisladamente.

Mineralizaciones de Las Gacias (Huércal-Overa, Almería)

De este yacimiento se ha hecho un muestreo en dos frentes de explotación, con marcadas diferencias en su composición química y mineralógica (series GAC y GA). Está situado cerca de la rambla de Las Gacias, en el término de Huércal-Overa; las coordenadas geográficas correspondientes son: $37^{\circ} 24' 45''$ N y $1^{\circ} 50' 50''$ W, junto al borde centro-oriental de la hoja número 997 (Aguilas).

Las mineralizaciones están asociadas a un sistema de fallas normales que ponen en contacto unos conglomerados tortonienses (con cantos de esquistos, gneises, cuarcitas, már-

TABLA 2

Composición mineralógica de las muestras del Saltador

| Muestra | Sr (%) | Ba (%) | Cel | Dol | Cal | Mos | Jar | Est | Q |
|-----------------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| III-S-E | 43.94 | 0.246 | MA | Tr | — | — | — | — | — |
| III-S-1 | 38.13 | 0.279 | MA | Tr | — | M | — | — | Tr |
| III-S-2c | 15.34 | 0.665 | A | E | A | E | M | — | A |
| III-S-2 | 37.90 | 0.197 | MA | — | E | Tr | Tr | Tr | Tr |
| III-S-2F | 27.61 | 0.527 | MA | — | M | E | E | — | M |
| III-S-3 | 31.61 | 0.088 | MA | Tr | Tr | E | E | — | M |

Cel, celestina; Dol, dolomita; Cal, calcita; Mos, moscovita; Jar, jarosita; Est, estroncianita; Q, cuarzo; MA, muy abundante; A, abundante; M, medio; E, escaso; Tr, trazas; —, ausente.

En un trabajo reciente se ha abordado el estudio mineralógico de este yacimiento, en el que se pueden diferenciar al menos dos tipos de mineralizaciones (Arana y López Fenoy, 1983), unas ricas en celestina en forma de bolsadas y masas lenticulares y otras de galena y fluorita como constituyentes principales. En ambos tipos aparecen numerosos minerales asociados, en su mayor parte producidos por transformaciones posteriores. Entre ellos se encuentran esmectitas, clorita, mica blanca, caolinita, calcita, dolomita, cuarzo, smithsonita, cerusita, jarosita y un buen número de arseniados (producidos por oxidación de sulfosales primarias), que en conjunto hacen compleja la mineralogía de estas muestras.

La celestina del Saltador presenta una gran variedad de formas en cuanto al desarrollo cristalino, hábito, tamaño y color. Se encuentran cristales tabulares, prismáticos, fibrosos, lenticulares, redondeados, escamosos y piramidales. Las formas más frecuentes son (001), (011), (101), (210), (102), (110), (012) y (112). El predominio relativo de dos o más de ellas origina una amplia gama de formas típicas. En el

moles, micacitas y diabasas) con un tramo carbonatado triásico de una potencia de unos 200 metros. La parte superior de este tramo, cerca de la mineralización, está diferenciado en gran número de términos congruentes con la esquistosidad principal, entre los que se encuentran calizas recristalizadas grises, amarillentas y pardo-amarillentas, calizas dolomíticas, calcoesquistos amarillentos y filitas de tonalidades azules y violáceas. Más al oeste, ya en Sierra de Almagro, estos materiales quedan incluidos en el Complejo Ballabona-Cucharón de los autores holandeses (Simón, 1963).

Las mineralizaciones de estroncio se han explotado en labores a cielo abierto, junto al borde de una fractura (muestras de siglas GAC, tabla 3) y en galerías, en este caso con una ley más baja (serie GA) debido a la existencia de intercalaciones de niveles arcillosos.

En general, podemos diferenciar en este yacimiento una celestina compacta, en agregados prismáticos y tabulares (tipo I), celestina de relleno en fisuras y oquedades (tipo II), brechoide (tipo III) y asociada a niveles arcillosos (tipo IV). Las principales características mineralógicas de este yaci-

TABLA 3

Composición mineralógica de las muestras de Las Gacias

| Muestra | Sr (%) | Ba (%) | Cel | Est | Dol | Cal | Q | Mos | Cao |
|---------------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| GAC-8 | 44.41 | 1.236 | MA | Tr | — | — | — | — | — |
| GAC-1 | 38.49 | 1.555 | MA | E | E | E | — | — | — |
| GAC-9 | 22.37 | 0.563 | MA | Tr | A | — | Tr | — | — |
| GAC-10 | 42.39 | 2.667 | MA | Tr | — | E | — | — | — |
| GAC-12 | 42.71 | 1.895 | MA | — | E | — | — | — | — |
| GA-1 | 33.42 | 4.324 | MA | — | M | A | Tr | — | Tr |
| GA-3 | 28.51 | 4.766 | MA | — | A | A | E | E | — |
| GA-4 | 33.51 | 5.448 | MA | Tr | M | Tr | Tr | E | Tr |
| GA-5 | 30.84 | 6.015 | MA | Tr | M | — | Tr | E | Tr |
| GA-6 | 35.43 | 4.301 | MA | Tr | E | Tr | — | — | — |
| GA-7 | 31.65 | 3.937 | MA | — | M | Tr | — | E | E |

Cel, celestina; Est, estroncionita; Dol, dolomita; Cal, calcita; Q, cuarzo; Mos, moscovita 2M₁; Cao, caolinita; MA, muy abundante; A, abundante; M, medio; E, escaso; Tr, trazas; —, ausente.

miento se han recogido en un trabajo previo (Arana y López, 1982), en el que se estudia igualmente la relación con las mineralizaciones próximas de Sierra de Almagro.

En la tabla 3 se indica el contenido en Sr y Ba de las muestras seleccionadas de este yacimiento, junto a la mineralogía de las mismas.

Estas muestras presentan los mayores contenidos en bario de todo el conjunto analizado, pese a que los valores medios son todavía bajos. Por el contrario, desciende apreciablemente la ley media en celestina respecto a otros afloramientos, ya que viene acompañada de cantidades superiores de calcita o dolomita. En cuanto a los restantes minerales asociados, sólo aparece estroncionita en forma apreciable en una muestra, mientras que cuarzo, moscovita y caolinita son claramente minoritarios.

Resultados y discusión

El estudio difractométrico de las muestras de celestina se ha efectuado en placas de polvo, añadiendo CaF₂ al 10% como standard de referencia en la medida de espaciados interplanares. Para estas muestras la fluorita es un excelente patrón, ya que presenta pocas líneas y no solapan con las reflexiones de la celestina. Con los valores obtenidos se procedió a la asignación de índices a las reflexiones y, posteriormente, al cálculo de las constantes de la celdilla unidad para comprobar si las diferencias en la posición de diversas líneas en los difractogramas se traducían en una variación significativa de uno o más parámetros cristalinos. Para ello se ha utilizado un programa de cálculo de constantes de celdilla rómbrica con ajuste de errores por mínimos cuadrados, introduciendo varios factores de corrección que atienden a las peculiaridades del método difractométrico empleado.

Los resultados obtenidos se expresan en la tabla 4, precedidos de los porcentajes de SrO y BaO de cada

muestra una vez recalculados a 100. De esta forma, quedan incrementados linealmente ambos valores, con un máximo para BaO de 8.97% en la muestra GA-5.

TABLA 4. Relación entre la composición química y los parámetros a, b, c, v

| Muestra | SrO(%)* | BaO(%)* | a ₀ (Å) | b ₀ (Å) | c ₀ (Å) | v(Å ³) |
|----------|---------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| HO-2 | 56.06 | 0.43 | 8.365 | 5.356 | 6.876 | 308.067 |
| HO-3 | 55.62 | 0.94 | 8.362 | 5.352 | 6.865 | 307.222 |
| HO-3 | 55.95 | 0.56 | 8.376 | 5.353 | 6.875 | 308.216 |
| HO-4 | 56.24 | 0.22 | 8.257 | 5.348 | 6.868 | 307.326 |
| HO-5 | 56.22 | 0.24 | 8.366 | 5.354 | 6.872 | 307.843 |
| HO-6 | 55.61 | 0.95 | 8.356 | 5.347 | 6.862 | 306.551 |
| HO-7 | 56.18 | 0.29 | 8.359 | 5.361 | 6.871 | 307.884 |
| HO-9 | 56.36 | 0.08 | 8.370 | 5.355 | 6.874 | 308.121 |
| HO-10 | 56.30 | 0.15 | 8.357 | 5.358 | 6.872 | 307.746 |
| III-S-E | 56.18 | 0.30 | 8.369 | 5.351 | 6.869 | 307.619 |
| III-S-1 | 56.10 | 0.39 | 8.366 | 5.354 | 6.872 | 307.831 |
| III-S-2 | 54.51 | 2.23 | 8.376 | 5.353 | 6.876 | 308.281 |
| III-S-2 | 56.19 | 0.28 | 8.368 | 5.355 | 6.870 | 307.826 |
| III-S-2F | 55.57 | 1.00 | 8.361 | 5.351 | 6.866 | 307.172 |
| III-S-3 | 56.30 | 0.15 | 8.364 | 5.351 | 6.863 | 307.169 |
| GAC-1 | 54.64 | 2.08 | 8.375 | 5.359 | 6.875 | 308.524 |
| GAC-8 | 55.18 | 1.45 | 8.364 | 5.343 | 6.898 | 308.226 |
| GAC-9 | 55.30 | 1.31 | 8.371 | 5.353 | 6.876 | 308.119 |
| GAC-10 | 53.69 | 3.19 | 8.378 | 5.357 | 6.880 | 308.756 |
| GAC-12 | 54.47 | 2.28 | 8.364 | 5.346 | 6.870 | 307.238 |
| GA-1 | 51.07 | 6.24 | 8.389 | 5.363 | 6.887 | 309.840 |
| GA-3 | 49.70 | 7.84 | 8.385 | 5.356 | 6.873 | 308.727 |
| GA-4 | 49.86 | 7.66 | 8.380 | 5.361 | 6.877 | 308.984 |
| GA-5 | 48.73 | 8.97 | 8.373 | 5.360 | 6.879 | 308.717 |
| GA-6 | 51.37 | 5.89 | 8.383 | 5.354 | 6.882 | 308.896 |
| GA-7 | 51.26 | 6.02 | 8.378 | 5.364 | 6.884 | 309.345 |

*. Porcentajes en la muestra recalculados a 100.

Los parámetros de la celdilla a_0 , b_0 , c_0 y V se indican aproximando el error a la última cifra decimal y presentan pequeñas variaciones, con un valor siempre superior al de una celestina pura, por lo que la pre-

aquí para las distintas muestras de celestina guardan un acuerdo excelente con los datos publicados (Palache *et al.*, 1951; Swanson y Fuyat, 1953; Deer *et al.*, 1962; Alías *et al.*, 1979, entre otros) y las reflexiones

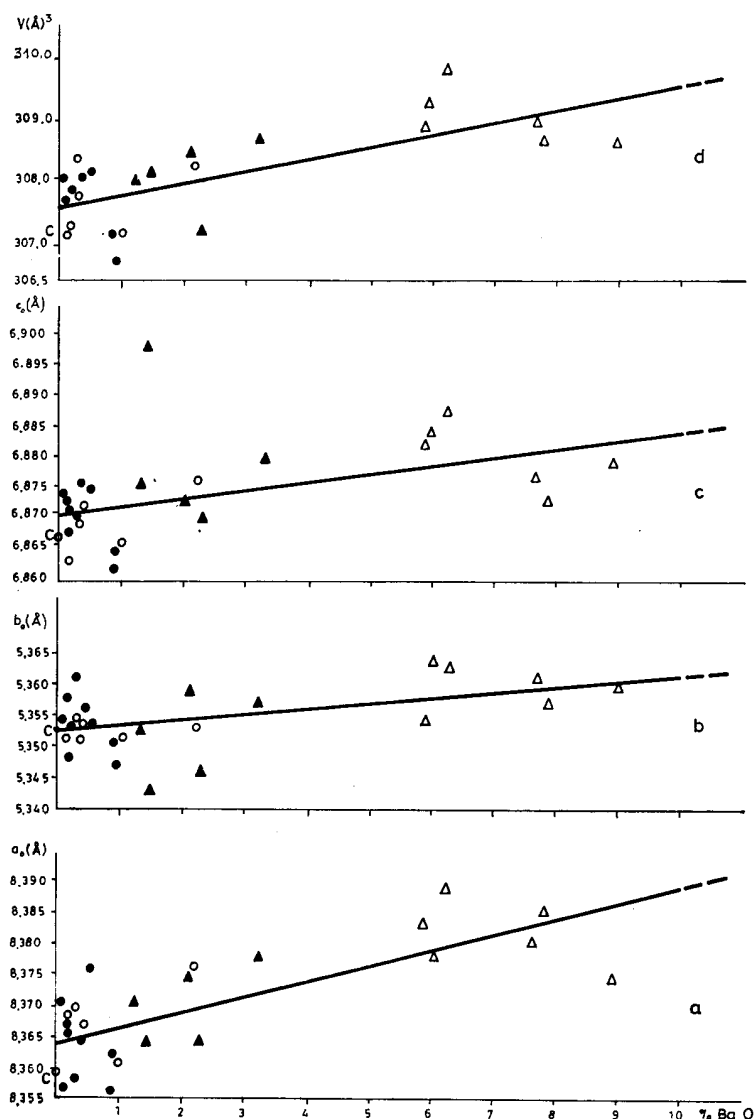


Fig. 1.—Relación entre los parámetros a_0 , b_0 , c_0 y V de las muestras de celestina estudiadas con el contenido en BaO. Símbolos utilizados: triángulos vacíos, yacimientos de Las Gacías, serie GA; triángulos llenos, yacimiento de Las Gacías, serie GAC; círculos vacíos, yacimiento del Saltador; círculos llenos, yacimiento de La Hortichuela; c, posición de una celestina pura.

sencia de bario se traduce en un efecto aditivo en todos los parámetros. Evidentemente, el volumen de la celdilla es el parámetro más afectado por este reemplazamiento, con una fluctuación de 3.3 \AA^3 entre los valores máximo y mínimo.

En general, los parámetros cristalinos obtenidos

observadas son compatibles con el grupo espacial Pnma. Sin embargo, Mikaye *et al.* (1978), eligen una orientación distinta para la celdilla unidad en todos los términos de la serie isoestructural $\text{BaSO}_4\text{-SrSO}_4\text{-PbSO}_4$, permutando a con c, b con a y c con b, y, en consecuencia, proponen el grupo espacial Pbnm.

Para conocer el efecto del reemplazamiento de Sr por Ba en muestras naturales de celestina sobre los parámetros de la celdilla unidad, se ha adaptado un programa de cálculo por regresión lineal que permite encontrar un buen ajuste entre cada uno de ellos y el contenido en bario. Con los datos obtenidos se ha preparado la figura 1a, b, c, d, en la que se observa la variación de los parámetros a , b , c , y V con el contenido en BaO en el intervalo de 0 a 10%.

Las ecuaciones obtenidas son las siguientes:

$$\begin{aligned} a &= 8.353 \text{ \AA} + 7.728 \cdot 10^{-3} x (\text{ \AA}) \\ b &= 5.352 \text{ \AA} + 9.364 \cdot 10^{-4} x (\text{ \AA}) \\ c &= 6.871 \text{ \AA} + 1.316 \cdot 10^{-3} x (\text{ \AA}) \\ V &= 307.600 \text{ \AA} + 0.1997 x (\text{ \AA}^3) \end{aligned}$$

siendo x el contenido en BaO en %. Los coeficientes de correlación obtenidos son, respectivamente, 0.7453, 0.5177, 0.4762 y 0.7345.

Al introducir en el programa el porcentaje de BaO correspondiente a una barita pura, el ajuste encontrado es muy deficiente y se observa una notable dispersión de valores respecto a una recta de 45° de pendiente, debido a lo cual creemos que los resultados obtenidos para muestras sintéticas en el sistema SrSO_4 - BaSO_4 , no son aplicables a muestras naturales. En efecto, se ha demostrado que existe una variación continua de los parámetros reticulares con la composición en el sistema ternario BaSO_4 - SrSO_4 - PbSO_4 (Bostrom *et al.*, 1968), así como en el sistema binario SrSO_4 - BaSO_4 (Bukhard, 1973, 1978; Brower, 1973, Kitaro, 1977; etc.). Incluso Kowalski y Stepniewski (1979) encuentran una excelente relación entre los espaciados interplanares d_{hkl} y la intensidad de las reflexiones en muestras de BaSO_4 con el contenido en Sr, en el intervalo 0.03 a 60% en peso de SrSO_4 , lo que permite establecer con precisión el término concreto de la serie. Asimismo, encuentran una buena concordancia entre la intensidad de la reflexión d_{410} (a 1.947 Å) y el contenido en Sr. No se tiene en cuenta, por el contrario, el efecto de un reemplazamiento por otros elementos posibles como Ca y Pb.

En el estudio por espectrofotometría de absorción atómica de las muestras seleccionadas para este trabajo, no se ha detectado la presencia de Pb en ningún caso. Asimismo, debido a la íntima relación de la celestina con las rocas carbonatadas encajantes, no se creyó oportuna la inclusión de Ca en las determinaciones; en todo caso, debe reemplazar en un grado muy bajo a Sr, tal como indica el análisis por fluorescencia de rayos X de cristales puros de celestina de los cuatro afloramientos incluidos.

El análisis de la figura 1 indica una mejor relación de parámetros reticulares / contenido en BaO para b , que presenta un buen ajuste, mientras que la definición es menor para los restantes parámetros. Con todo, creemos que las relaciones podrían establecerse con mayor precisión incluyendo una mayor población

de muestras, ya que estas variaciones, aunque pequeñas, son mucho más significativas que las que se encuentran en el estudio de las propiedades ópticas en los mismos afloramientos.

El análisis detallado del quimismo de todas las muestras estudiadas confirma la incompatibilidad natural entre Sr y Ba para alcanzar un reemplazamiento continuo entre los términos extremos celestina y barita. Hanor (1968) indica que durante la precipitación de soluciones acuosas, la fase $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{SO}_4$ no se reequilibra frente a los cambios de composición del líquido original, y este comportamiento inerte conduce a una separación geoquímica de Sr y Ba que explica la rareza de términos de composiciones intermedias en ambientes naturales. Un análisis de las composiciones encontradas en los distintos yacimientos de barita y celestina de las Cordilleras Béticas, pone de manifiesto igualmente esta incompatibilidad natural, ya que en ningún caso aparecen juntos los dos minerales en un mismo afloramiento. Debe resaltarse, finalmente, que las muestras del yacimiento de Las Gacias (serie GA), presentan el mayor grado de reemplazamiento $\text{Sr} \rightleftharpoons \text{Ba}$ conocido hasta el momento en los distintos yacimientos béticos de celestina.

Bibliografía

- ALÍAS, L. J.; FERNÁNDEZ TAPIA, M. T. y ORTIZ SILLA, R.
1979. Estudio de la celestina del yacimiento de "La Hortichuela" (Murcia). *Estudios geol.*, 35, 433-436.
- AMES, L. L., Jr.
1961. Cation metasomatic replacement reactions. *Econ. Geol.*, 56, 1017-24.
- ARANA, R. y LÓPEZ FENOY, V.
1982. Estudio mineralógico del yacimiento de celestina de Las Gacias (Huércal-Overa, Almería). *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 5, 123-133.
1983. Estudio mineralógico del yacimiento de celestina del Saltador (Lorca, Murcia). *Libro homenaje a Carlos Felgueroso*, 21-33.
- ARANA, R. y PÉREZ SIRVENT, C.
1983. Características mineralógicas de las baritas de San Ginés de la Jara (Murcia). *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 7, 89-100.
- ARANA, R.
1984. Itinerarios mineralógicos por la región murciana. Vol. I. *Inst. Cienc. Educ. Univ. Murcia*, 156 págs.
- AZEMA, J.
1965. Sur l'existence d'une zone intermédiaire entre Prébetique et Subbétique dans les provinces de Murcia et d'Alicante (Espagne). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 260, 4020-23.
- BLOUNT, C. W.
1974. Synthesis of Barite, Celestite, Anglesite, Witherite, and Strontianite from Aqueous Solutions. *Amer. Mineral.*, 59, 1209-1219.
- BOSTROM, K.; FRAZER, J. y BLANKENBURG, J.
1968. Subsolidus phase relations and lattice constants in the system barium sulfate-strontium sulfate-lead sulfate. *Ark. Mineral. Geol.*, 4 (27), 477-485.

- BROWER, E.
1973. Synthesis of barite, celestite, and barium-strontium sulfate solid solutions crystals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37 (1), 155-158.
- BURKHARD, A.
1973. Optical and X-ray investigation of the barite-celestite system. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 53 (2), 185-97.
1978. Barite-celestite and their solid solution crystals in the Swiss Alps and Jura Mountains. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 58 (1-2), 1-95.
- COLVILLE, A. A. y STAUDHAMMER, K.
1967. Refinement of the structure of barite. *Amer. Mineral.*, 52, 1877-1880.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A. y ZUSSMAN, J.
1962. Rock - Forming Minerals, vol. V. Non Silicates. Longman.
- FALLOT, P.
1945. Estudio geológico en la zona Subbética entre Alicante y el río Guadiana Menor. *Mem. Inst. Lucas Mallada*, C.S.I.C., Madrid, 720 págs.
- HANOR, J. S.
1968. Frequency Distribution of Compositions in the Barite - Celestite Series. *Amer. Mineral.*, 53, 1215-1222.
- HINTZE, C.
1929. Handbuch der Mineralogie. Vol. 1. De Gruyter. Berlin und Leipzig, 3885-3889, 3951-3955.
- JEREZ MIR, L.; JEREZ MIR, F. y GARCÍA MONZÓN, G.
1974. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. 2.^a ser., hoja núm. 891 (Cieza). *Inst. Geol. Min. España* Madrid.
- KITARO, H.; MÁZ, G. y BENGOCHEA, A.
1977. Synthesis of barium - strontium sulfate solid solution and some considerations on the genesis of the barite-celestite deposits in Neuguen Province, Argentina. *Jap. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, 72 (3), 93-102.
- KOWALSKI, W. y STEPNIIEWSKI, M.
1979. X-ray diffraction powder method of determining the composition of strontium-containing barites. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Terre*, 27 (3-4), 151-157.
- MIKAYE, M.; MINATO, I.; MORIKAWA, H. y IWAI, S.
1978. Crystal structures and sulfate force constants of barite, celestite, and anglesite. *Amer. Mineral.*, 63, 506-510.
- PALACHE, C.; BERMAN, H. y FRONDEL, C.
1951. Dana'System of Mineralogy, 7th edn., vol. 2. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- RENAULT, J. y BROWER, E.
1971. X-Ray Broadening in the Barium Sulfate-Strontium Sulfate Series. *Amer. Mineral.*, 56, 1481-1486.
- SIMON, O. J.
1963. Geological Investigations in the Sierra de Almagro, South-Eastern Spain. *These. Univ. Amsterdam*, 164 págs.
- STARKE, R.
1964. Die Strontiumgehalte der Baryt. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 86 págs.
- SWANSON y FUYAT
1953. NBS, Circular 539, vol. II, 61.

Recibido el 17 diciembre de 1894.
Aceptado el 13 de marzo de 1985.