



Las megaselenitas del distrito minero de Naica, Chihuahua, una ocurrencia mineralógica anómala

B. Ricardo Marín Herrera*, Federico Vogel González, René Echegoyén Guzmán

*Facultad de Minas y Geología, Universidad de Guanajuato
ex-Hacienda de San Javier, 36020 Guanajuato, Gto., México*

Resumen

La mina de Naica, localizada en el estado de Chihuahua, México, es líder nacional desde hace ya muchos años en la producción de plomo. Produce además plata y zinc. En 1910 se descubrió en el nivel 120 de la mina la Cueva de las Espadas, que se ha preservado en buen estado hasta la fecha y que es reconocida internacionalmente por sus famosos cristales de yeso selenita. Más notable aún que el propio descubrimiento del yacimiento de Naica y su Cueva de las Espadas, es el descubrimiento de una zona de cavernas localizadas en el nivel 390 de la mina repletas de espectaculares ejemplares, todos de selenita, con dimensiones que alcanzan los 10 metros de longitud y anchos cercanos a 1 metro. Algunas teorías se han desarrollado para tratar de explicar tales espectaculares dimensiones, sin embargo todas coinciden en lo favorable del ambiente geológico emplazado en rocas calizas del Cretácico, que presentan varios sistemas de fracturas y fallas que sirven de conducto para el desplazamiento del agua de un importante acuífero.

Palabras Clave: Distrito de Naica, yeso selenita, megacristales, ambiente geológico.

1. Antecedentes

El Distrito Minero Naica se localiza en el centro del estado de Chihuahua, al Norte de México (Fig. 1). Actualmente la única mina en operación en el distrito pertenece a la Compañía Fresnillo, S.A. de C.V., subsidiaria del Grupo Peñoles; ésta unidad minera ostenta desde hace ya muchos años el primer lugar nacional en la

producción de plomo y también produce cantidades importantes de zinc y plata.

Los primeros indicios de operaciones mineras en la región datan de hace más de dos siglos. Stone (1959) asienta que la primera concesión minera del distrito se otorgó en el año de 1794. Lambert (1892) describe que los yacimientos fueron descubiertos por gambusinos que los trabajaron a muy pequeña

* E-mail: r_marin@quijote.ugto.mx (B.R. Marín Herrera)

escala entre 1828 y 1830. La Compañía Minera de Naica inició la explotación formal de yacimiento a fines del siglo XIX suspendiendo operaciones hacia 1911. Posteriormente, la Compañía Minera Peñoles S.A. reinició las actividades de extracción en 1924 continuando hasta 1928. A partir de este año, The Naica Mines of Mexico explotó los yacimientos hasta 1951, cuando traspasó las propiedades a The Fresnillo Company S.A. que hasta hoy opera bajo la razón social de Cía. Fresnillo S.A. de C.V. A la fecha la producción estimada del yacimiento supera los 30 millones de toneladas de mineral.

2. Geología

En el distrito se han realizado numerosos estudios geológicos. Entre los autores más importantes podemos mencionar a Basset (1955), Bravo (1968), Duarte (1972), Franco (1978), Stone (1959) y Wilson (1956), éste último, jefe de geólogos de la compañía entre 1953 y 1968.

2.1. Fisiografía

El yacimiento de Naica se localiza dentro de la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras de Norte (clasificación de INEGI). Sobresalen sobre el paisaje grupos de pequeñas sierras aisladas con orientación NW-SE. Una de estas sierras es la conocida como Sierra de Naica que se integra por la Sierra de la Mina, Sierra de Enmedio y por la Sierra del Monarca. Estas estructuras tienen una elevación media de 1,700 msnm.

La mina de Naica se ubica en el flanco NE de la sierra del mismo nombre, en el área que corresponde a la Sierra de la Mina, misma que ha sido moldeada por plegamientos secundarios, fallamiento y erosión.

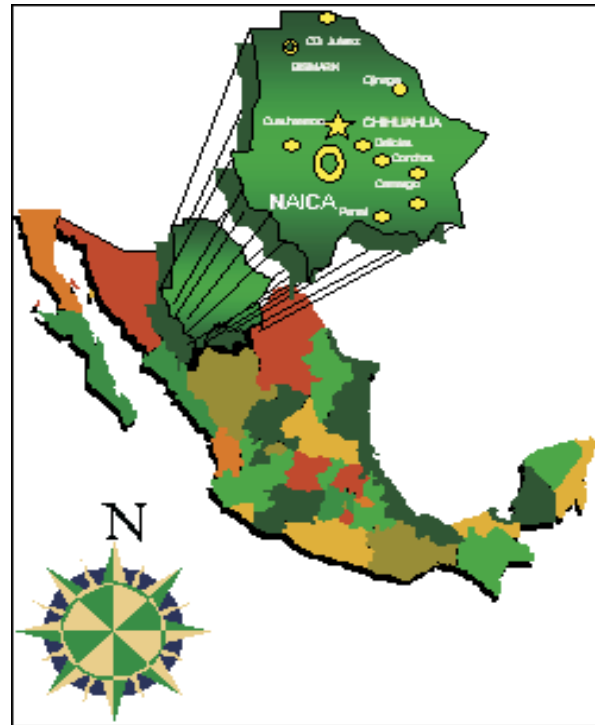


Figura 1. Localización Distrito Minero de Naica, en Chihuahua, México.

2.2. Estratigrafía

La Sierra de Naica (Fig. 2) está constituida principalmente por rocas sedimentarias del Albiano, en su mayor parte calizas, a excepción de dos fajas angostas de margas y lutitas calcáreas que afloran hacia el poniente. Estas rocas sedimentarias descansan sobre una secuencia evaporítica denominada formación Cuchillo, del Aptiano, que no aflora en el área pero que ha sido ampliamente descrita en los alrededores. Las únicas rocas ígneas reconocidas en el distrito se presentan en forma de diques y sills de composición félsica (Franco, 1978).

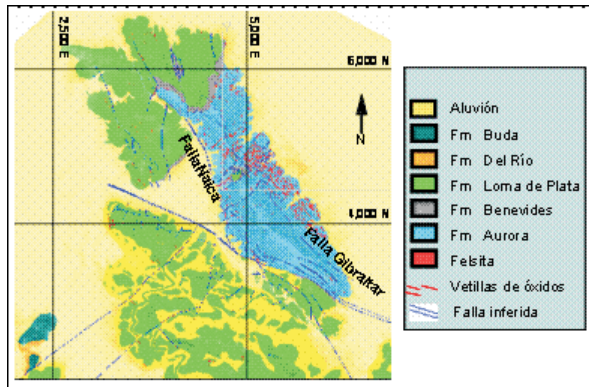


Figura 2. Geología superficial Distrito Minero Naica Depto. de Geología/Unidad Naica.

2.2.1. Rocas Sedimentarias

I. Formación Aurora. Constituida por las rocas más antiguas identificadas en el área, está representada por una amplia secuencia de calizas del Albiano que presentan recristalización. Wilson (1956) la divide localmente en tres franjas: Inferior, Media y Superior, estas no tienen sus límites bien definidos y no constituyen unidades mapeables. Las franjas Inferior y Media están constituidas por calizas marmorizadas de color gris oscuro a blanco, de grano fino a medio y los rasgos de la estratificación han desaparecido por completo. Es en estas dos franjas donde se hospedan la mayor parte de los cuerpos mineralizados. La franja Superior está integrada en su mayor parte por calizas de color gris claro a oscuro, de grano muy fino, con abundantes bandas delgadas y nódulos de pedernal. El espesor de esta formación se supone superior a 800 metros.

II. Formación Benevides. Es concordante a la Formación Aurora y está constituida por lutitas calcáreas de color gris oscuro que intemperizan

a color amarillo ocre; su espesor varía de 30 metros en la Sierra de la Mina a 60 metros en la Sierra del Monarca. Su edad es del Albiano Medio Superior.

III. Formación Loma de Plata. Aflora en toda la Sierra de Naica y tiene un espesor aproximado de 450 metros. Se pueden diferenciar dos miembros: uno inferior de 30 a 40 metros de espesor, constituido por una micrita de estratificación media (0.6 a 0.8 metros) de color gris claro, con escasos microfósiles. El miembro superior está constituido por caliza de estratificación gruesa a masiva. Tanto su contacto superior como el inferior son claros y concordantes. Su edad es del Albiano Superior.

IV. Formación Del Río. Formada principalmente por lutitas y limonitas arcillosas de color gris, con estratificación delgada. Aflora únicamente en las Sierras de Enmedio y Monarca, ya que ha sido erosionada en la Sierra de la Mina. Sus contactos son concordantes, su espesor es de 20 a 30 metros y su edad estimada corresponde al Albiano Superior-Cenomaniano.

V. Formación Buda. Se constituye por calizas color gris crema dispuestas en estratos gruesos y masivos, su espesor se desconoce debido a la erosión que presenta en su cima. Esta formación pertenece al Cenomaniano Inferior.

Cubriendo a las formaciones anteriores y en discordancia angular con las mismas, se emplazan gruesas capas de material detrítico no consolidado, que en algunas zonas alcanza los 15 metros de espesor. Estos depósitos tienen una edad reciente, aunque su periodo de formación, según Duarte (1964), pudo haber iniciado en el Terciario.

2.2.2. Rocas Ígneas

Las únicas rocas ígneas identificadas en el distrito están representadas por sills y diques lenticulares de textura afanítica y

composición félsica. En las zonas no alteradas presentan un color gris claro, fracturamiento concoidal y marcado bandeamiento de flujo paralelo a las paredes de la roca encajonante.

Existen divergencias en cuanto a la clasificación de estas estructuras; Basset (1955) sugiere que pudiese tratarse de un depósito mineral de alta temperatura. Black en Wilson (1956) reporta que estos diques y sills están formados casi en su totalidad por albita. La edad isotópica (K/Ar) obtenida para estas rocas es de 26 millones de años (Clark et al., 1979).

2.2.3. Rocas Metamórficas

Se encuentran dos tipos de rocas metamórficas en el distrito: La primera es un skarn de silicatos cálcicos y el otro es un mármol originado por el pirometamorfismo de la caliza Aurora. Existen variaciones en la coloración del mármol, de gris a blanco, ocasionados principalmente por diferencias de composición original y textura, además de las condiciones variables de metamorfismo. En la vecindad inmediata a los cuerpos de mineral el mármol ha sido lixiviado, ya que el entrelazamiento marcado de los granos de calcita ha sido destruido y los bordes han sido corroídos, además de que la calcita de estas áreas es intensamente fluorescente bajo la lámpara de luz ultravioleta, al contrario de la calcita que está alejada de los cuerpos.

La marmorización de la caliza es muy común en las zonas mineralizadas o bien en los contactos con las mismas y aunque se ha sugerido que existieron horizontes preferenciales para el depósito de la mineralización (Ruiz y Barton, 1985; Villasuso, 2002), esto no se ha confirmado en el depósito de Naica.

2.3. Geología estructural

La Sierra de Naica está formada por tres sierras menores que constituyen un extenso domo alargado con dirección NW-SE, de 12 km de longitud con ancho máximo de 7 km. En el área de la mina se puede notar un intenso fracturamiento anterior, contemporáneo y posterior a la mineralización. El fracturamiento previo corresponde a un sistema de fallas y fracturas con rumbo NW-SE, paralelas al eje mayor del domo mencionado, con inclinaciones que varían desde unos cuantos grados hasta casi verticales y buzamientos predominantes al SW. Es en este sistema donde se emplazan la mayoría de los cuerpos mineralizados.

El segundo sistema está representado por fracturas y fallas mineralizadas con dirección NE-SW, algunas de ellas con desplazamientos de decenas de metros. Este sistema fue económicamente muy importante en los niveles superiores de la mina, desde la zona de oxidación cercana a superficie, hasta los niveles 240 y 290 (metros bajo el brocal del tiro, localizado a 1385 msnm). Dos fracturas de este sistema con echados contrarios originaron la Chimenea Torino-Tehuacán, cuerpo mineralizado muy rico en sulfuros masivos con un diámetro promedio de 70 metros y uno de los más importantes del yacimiento.

Un tercer sistema, posterior a los descritos y también a la mineralización, está integrado por fracturas y fallas con rumbo NW-SE con desplazamiento del orden de decenas de metros. Este sistema es importante porque sus fracturas y fallas sirven como conductos principales del acuífero dentro del cual está el yacimiento. A través de estas fracturas y fallas corre agua con temperatura que alcanza lo 55°C y a profundidad se han cortado volúmenes importantes con presiones hasta de 4 MPa. Entre las fallas más notables de este sistema se encuentran la Falla Gibraltar

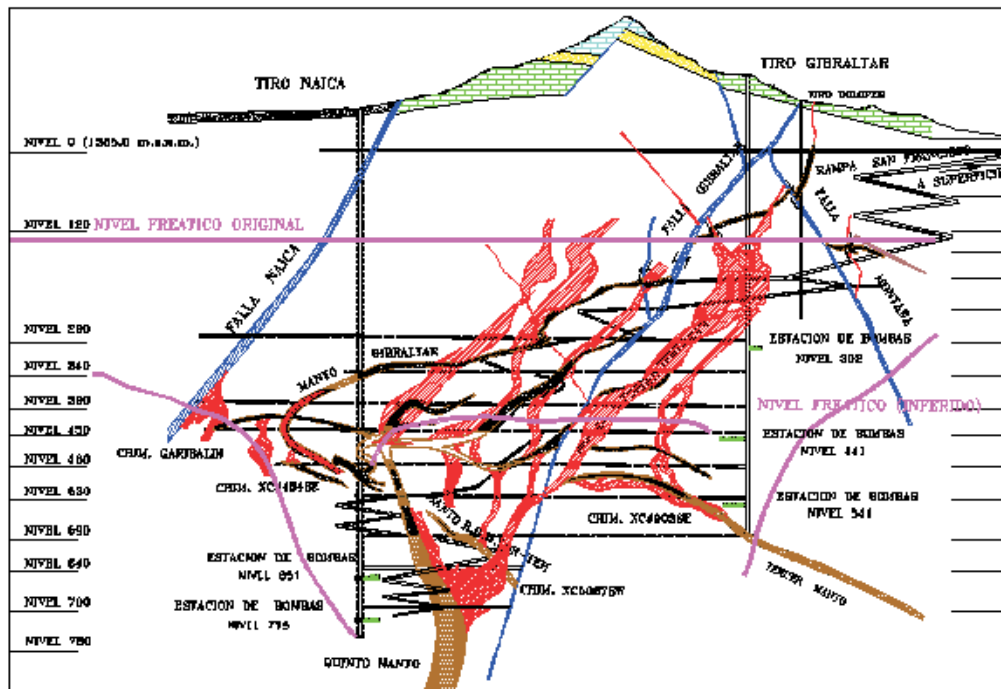


Figura 3. Sección típica del yacimiento de Naica. Se muestran las principales chimeneas y mantos. Depto. de Geología/Unidad Naica.

y la Falla Naica, que buzan hacia el SW y tienen desplazamientos verticales cercanos a los 50 metros y 200 metros respectivamente, y la Falla Montaña que buza hacia el NE, que merece especial atención ya que en esta se aloja la Cueva de las Espadas, famosa por sus bellos ejemplares de selenita.

Recientemente (1999), hacia el alto de la falla Naica se descubrieron nuevas cavernas con megacristales de selenita que superan con mucho en calidad y belleza a los encontrados en la Cueva de las Espadas.

2.4. Yacimientos minerales

El yacimiento de Naica es un depósito de reemplazamiento de Ag-Pb-Zn, de alta temperatura emplazado en rocas carbonatadas

(Megaw *et al.*, 1988; en Villasuso, 2002). Los cuerpos mineralizados se han clasificado en mantos y chimeneas en base al contenido de minerales calco-silicatados de +5% para el primer caso y -5% para el segundo (Stone, 1959; en Villasuso, 2002), más que la tradicional definición referida a su estrecha relación estratigráfica. A su vez, los mantos se han subdividido en endoskarn y exoskarn indicando la presencia o ausencia de los diques de felsita (Palacios *et al.*, 1991; en Villasuso, 2002). Las chimeneas se han clasificado de acuerdo a su contenido mineralógico en sulfuros masivos y sulfuros-silicatos (Fig. 3).

2.4.1. Mantos

El término manto se aplicó localmente a cuerpos tabulares sensiblemente horizontales y casi paralelos a la estratificación; están



Figura 4. Izquierda, fotografía de la cueva de las espadas tomada a mediados del siglo pasado. Archivo Unidad Naica. Derecha, misma vista que en la foto anterior tomada en el año 2002. Autor: R. Marín.

compuestos principalmente con silicatos que contienen sulfuros diseminados. A medida que las operaciones profundizaron, el echado de este tipo de cuerpos fue cada vez mayor, hasta alcanzar en algunos casos la vertical, sin embargo por costumbre, se sigue aplicando el mismo término para definirlos.

Se conocen aproximadamente 20 mantos en el área de la mina, muchos de ellos interconectados entre sí. Sus dimensiones son muy variables y van desde unos cuantos centímetros hasta cerca de los 40 metros de potencia, con longitudes que pueden extenderse a más de 500 metros. Se ubican prácticamente en todos los niveles de la mina, desde muy cerca de superficie hasta cerca de los 900 metros (ubicados con barrenación de diamante). Los más importantes son los mantos Gibraltar y Quinto Manto.

2.4.2. Chimeneas

Son cuerpos mineralizados integrados principalmente por sulfuros masivos, con cantidades variables de silicatos. Sus inclinaciones generalmente son mayores a los 45° y sus secciones vistas en planta son cercanas a la elíptica, aunque irregulares. En Naica se conocen cerca de 60 chimeneas pero las más importantes, sin lugar a dudas, han sido la Chimenea Torino-Tehuacán y la Chimenea 5087, esta última al parecer representa la continuidad de la primera a profundidad.

Las diferencias principales entre los mantos y las chimeneas, además de la forma, son su constitución mineralógica y sus leyes. Mientras que los mantos están compuestos principalmente por silicatos y los sulfuros se encuentran en los contactos o diseminados, las chimeneas están compuestas principalmente por sulfuros masivos. Las leyes de los minerales de



Figura 5. Interior de la cueva de los cristales gigantes. Autor: R. Marín.

mena constituyen otra diferencia notable: en los mantos se pueden encontrar leyes medias de 180 gr/ton de Ag con 2% a 5% de Plomo-Zinc combinados. En las chimeneas las leyes superan muchas veces los 200 gr/ton de Ag y se han encontrado combinaciones Plomo-Zinc superiores al 20%.

2.4.3. Origen del Yacimiento

Todas las evidencias indican que los yacimientos minerales de Naica son de origen hidrotermal. El sistema hidrotermal fue originado por la presencia de un cuerpo intrusivo que se localiza a más de 2,000

metros de profundidad, como lo sugiere un estudio magnetométrico (informe interno- Unidad Naica). La interacción de este cuerpo intrusivo con las aguas connatas de la secuencia sedimentaria generó un sistema hidrotermal con salmueras con alta capacidad para transporte de metales. Los cuerpos minerales se formaron a partir de soluciones ricas en sílice, alúmina, manganeso, hierro, plomo, zinc, plata, flúor, y azufre, las cuales ascendieron siguiendo zonas de debilidad como los contactos de los diques félsicos emplazados casi simultáneamente en la caliza encajonante, reemplazando a ambos y

tomando parte de sus elementos constituyentes (Ca-Mg) para formar nuevos minerales. Los datos de inclusiones fluidas (Erwood *et al.*, 1979) y las observaciones de texturas y mineralógicas indican que las soluciones hidrotermales variaron en composición a medida que evolucionó el sistema. La variación más notable es que la fugacidad del cloro fue disminuyendo a medida que la fugacidad del azufre aumentaba, produciendo así la precipitación de sulfuros, en ocasiones a expensas de los silicatos previamente formados.

Por su posición estructural y relaciones geométricas, se deduce que los mantos o cuerpos ricos en silicatos preceden en su formación a las chimeneas y por lo tanto fueron formados en el máximo energético del fenómeno geotérmico.

Según los datos isotópicos, el proceso hidrotermal tuvo lugar en el Oligoceno Tardío, probablemente coincidiendo con los últimos episodios del magmatismo de la Sierra Madre Occidental, de la cual Naica no está muy distante.

2.4.4. Mineralogía

Como la mayoría de los yacimientos tipo skarn, el de Naica presenta una mineralogía muy variada. En la zona de oxidación se encuentran óxidos de hierro y manganeso, también cerusita, anglesita y wulfenita, smithsonita y hemimorfita. La presencia de cuprita, malaquita, azurita y crisocola indican la oxidación de la calcopirita primaria.

En casi toda la zona de oxidación se pueden encontrar cristales de selenita, algunos con inclusiones de cobre nativo.

La mineralización de los skarns en los mantos es rica en silicatos: cuarzo, wollastonita, granates de la serie grosularia-andradita, hedenbergita y vesuvianita. Además se pueden encontrar calcita, fluorita,

molibdenita, pirita, pirrotita y marcasita. Todos estos constituyen los minerales de ganga.

Entre los principales minerales de mena que se encuentran en los mantos están: galena, esfalerita, calcopirita y scheelita (en un tiempo Naica exportó concentrados de tungsteno). La plata se encuentra incluida en la galena, en forma de cristales microscópicos de sulfosales ricas en bismuto.

En las chimeneas se encuentran grandes concentraciones de sulfuros como galena y esfalerita como principales minerales de mena. Entre la ganga se encuentran también pirita, calcopirita, fluorita, calcita, cuarzo, selenita y anhidrita.

3. Ambiente geológico y minerales de Naica

Definitivamente la mina de Naica, ha sido durante los últimos 50 años, líder en la producción de plomo en nuestro país, siendo además una importante productora de zinc. Esto se debe a que además de un gran yacimiento, formado bajo condiciones geológicas muy favorables, el personal que la ha administrado siempre se ha preocupado por implementar las técnicas de operación y equipo más modernos, constituyéndose también en punta de lanza y ejemplo a seguir en lo que se relaciona a seguridad, productividad, ventilación, bombeo, técnicas de desarrollo de mina y explotación.

El yacimiento de Naica y su mina, son también conocidos nacional e internacionalmente por su famosa Cueva de Las Espadas, que se descubrió en 1910 al estar realizando obras para preparar la explotación de un bloque de mineral. Tal cueva se ubica en el nivel 120 sobre la estructura geológica conocida como Falla Montaña; tiene sus paredes, piso y techo cubiertos por magníficos

cristales de selenita, algunos de los cuales alcanzan longitudes mayores a 2 metros.

Preservada por casi ya un siglo a partir de su descubrimiento, sigue siendo un importante atractivo para geólogos y mineros de todo el mundo (Fig. 4).

Sin embargo, el más importante atractivo de Naica, mineralógicamente hablando, no es su citada Cueva de las Espadas. El 22 de Julio de 1999 mientras desarrollaba una obra para explorar hacia el alto de la falla Naica en el nivel 390, se descubrió por casualidad una nueva caverna, metros más adelante se interceptó una segunda cueva (la más espectacular de todas) el 3 de Diciembre del mismo año. Dos cavernas más se comunicaron en la misma área durante el año 2000. Estas “nuevas” cuevas están repletas de fabulosos megacristales de selenita.

En la segunda y más importante, algunos ejemplares tienen dimensiones espectaculares ya que alcanzan más de 10 metros de longitud y tienen anchos cercanos a 1 metro, para algunos expertos estos cristales están entre los más grandes jamás encontrados a nivel mundial (Fig. 5). La temperatura en el interior de las cavernas alcanza un promedio superior a los 47°C y el aire está saturado de humedad (Badino *et al.*, 2002). La belleza, transparencia y dimensiones de los ejemplares que se encuentran en la serie de cuevas descubiertas en el nivel 390, superan por mucho a las de los cristales de la Cueva de las Espadas.

Si bien, los cristales de selenita son lo más notable de Naica, la riqueza y concentración de elementos en las soluciones mineralizantes, el notablemente favorable ambiente geológico conformado por rocas calizas cretácicas, la existencia de un importante acuífero y los sistemas de fallas descritos con anterioridad, dieron lugar a la formación de excelentes ejemplares de muchos otros minerales: cuarzo, fluorita,

anhidrita, galena, esfalerita, granates, que en muchas ocasiones se han encontrado formando piezas de excepcional belleza.

Tanta influencia tiene el acuífero (con agua a temperatura superior a 55°C y nivel freático original aproximadamente en el nivel 120) en la formación de cristales, y tan saturadas de carbonatos de calcio y sulfatos están sus aguas, que aún hoy en día, cuando se aísla un lugar en donde se ha interceptado agua, al transcurso de pocas semanas se forman nuevos cristales de selenita.

4. Discusión

Hasta hoy la teoría más aceptada acerca de la formación de los fabulosos cristales de selenita de Naica sustenta que estos se formaron cuando soluciones ricas en minerales solubles, circularon a través de fallas y fracturas disolviendo las calizas y generando huecos, la circulación combinada de agua del acuífero con diferente temperatura agrandó tales huecos creando un ambiente propicio para la pérdida de presión (y temperatura) de las soluciones hidrotermales y originando la precipitación de minerales y crecimiento de cristales (Ross, 2002; Foshag, 2004).

Badino *et al.* (2002) propone que los macrocristales se formaron bajo el agua, en un punto donde el agua termal profunda, caliente (55°C) y saturada de sulfuros se encontraban en contacto con agua de mucho menor temperatura proveniente de escurrimientos superficiales.

A lo largo del área de contacto entre estos dos tipos de agua que no podían mezclarse directamente dada la diferencia de densidad (mayor) de aquellas profundas y mineralizadas, se llevaba a cabo la “difusión” del oxígeno en el estrato inferior con consiguiente oxidación

de los iones sulfuro a sulfato que provocaban una leve sobresaturación respecto al yeso y por lo tanto una lentísima deposición. Evidentemente estas condiciones de deposición se mantuvieron por un tiempo muy largo (millones de años) y los cristales lograron desarrollarse hasta obtener estas dimensiones inusuales. Al final, en tiempos muy recientes la cavidad fue probablemente vaciada accidentalmente debido al descenso del nivel freático local ocasionado por el bombeo para permitir el desarrollo de las labores mineras.

Sea cual fuese la teoría más acertada sobre la génesis de los cristales de Naica, lo cierto es que las personas que han tenido la oportunidad de conocerlos y sobre todo, de visitar las cavernas, aún y cuando no sean expertos o conocedores, saben que están ante una de las grandes maravillas naturales, no sólo de México, sino del mundo.

Para finalizar podemos decir que para poder formular teorías con mayor grado de certeza sobre el origen de los cristales, es necesario realizar investigaciones detalladas y metódicas, involucrando la identificación y caracterización de los principales elementos que pudieron contribuir a su formación.

Referencias

- Badino, Petriagnani, Piccini (2002): El proyecto Naica, "La Cueva de los Cristales", Naica, Chihuahua, México. La Venta Exploring Team. <http://www.laventa.it/>
- Basset, A.M. (1955): Geology and mineralization of the Naica Mining District, Chihuahua, México. Tesis Doctoral, Univ. de Columbia, New York, EUA.
- Basset, A.M. (1956): Genesis and paragenesis of silicates and sulfides, Naica mine, Chihuahua, México. XX Congreso Geológico Internacional, México.
- Bravo, M.N. (1968): Geología de los depósitos de minerales en el Distrito Minero de Naica, Chihuahua, Tesis Profesional. ESIA, Instituto Politécnico Nacional.
- Clark, Damon, Schutter, Shafiquilleh (1979): Magmatismo en el norte de México, en relación a los yacimientos metalíferos. A.I.M.M.G.M., A.C. Memoria XIII.
- Duarte, E.A. (1972): Geología de yacimientos minerales en el Distrito de Naica, Estado de Chihuahua, American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers.
- Erwood, J., Kesler, S.E., Cloke, P.L. (1979): Compositionally distinct, saline hydrothermal solutions, Naica Mine, Chihuahua, Mexico. *Economic Geology*, 74: 95-108.
- Foshag, W.F. (1927): The selenite caves of Naica, Mexico. *American Mineralogist*, 12: 252-256.
- Franco Rubio, M. (1978): Estratigrafía del Albiano Cenomaniano en la región de Naica, Chihuahua y su relación con los yacimientos de plomo y zinc. Tesis de M.C., Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Ross, J.F. (2002): Crystal Moonbeams. *Smithsonian Magazine*, October 2002.
- Ruiz, J., Barton, M. (1985): Geology and geochemistry of Naica, Chihuahua, Mexico. AIME Preprint 85-43, 6 p.
- Stone, J.G. (1959): Ore genesis in the Naica district, Chihuahua, Mexico. *Economic Geology*, 54: 1002-1034.
- Wilson, I.F. (1956): El Distrito Minero de Naica, Chihuahua, México. XX Congreso Geológico Internacional.
- Villasuso, M.R. (2002): Descripción del yacimiento de Naica. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. Unidad Naica. Reporte inédito.