

## Evolución de las Ideas Argentinas sobre la génesis del “Mármol Ónice”

Hector Luis LACREU<sup>1</sup>

**Abstract:** *EVOLUTION OF THE ARGENTINIAN IDEAS ABOUT “ONIX-MARBLE”.* Guillermo Bodenbender, in 1903 proposed the former descriptions and genetic interpretations about some type of fibrous calcite ore deposits called, in Argentine “onix-marble”, “tecali” in México, and “calcareous alabaster” in Italy. In his paper, Bodenbender said “they are superficial deposits, like it was observed in other countries”, so that he knows some others sources but, lamentably, he didn’t mentioned it. Nevertheless is possible to assume that he knows some references from european and mexican authors. His genetic interpretation was a sedimentary deposit that represents a syngenetic model which was subsequently adopted and mentioned in many times to explain the Santa Isabel ore deposit genesis, located in the El Pantano area in San Luis province. In the same way others similar argentinian onix ores deposits genesis were explained, located in Salta and La Rioja provinces. Some studies done by Riggì in 1946 in San Luis Argentina and by Milocco in 1977 in Pakistan, mentioned some anomalies about de syngenetic model but they didn’t explain those features. Lacreu in 1982 found evidences of fractures refills, and suggests that the mineralization was epigenetic, and developed an epigenetic model in 1993. This model represent a new theoretical frame work which allow to justify all the observed nomalies up to the present time.

**Resumen:** *EVOLUCIÓN DE LAS IDEAS ARGENTINAS SOBRE LA GÉNESIS DEL “MÁRMOL-ÓNICE”.* Guillermo Bodenbender realizó en 1903 la primera descripción e interpretación genética sobre los yacimientos de un tipo de calcita fibrosa, que por entonces en Argentina se denominaba “ónix-mármol”, “tecali” en México y “alabastro calcáreo” en Italia. En su trabajo, Bodendender manifiesta que “estos depósitos son superficiales como ha sido observado en otros países” es decir que conoce antecedentes pero lamentablemente no cita las fuentes. No obstante se puede inferir que podría haber tenido referencias de autores europeos y/o mexicanos. En esa oportunidad, propuso un modelo singenético de tipo sedimentario que posteriormente fue adoptado y mencionado en reiteradas ocasiones tanto para explicar la génesis del yacimiento ubicado en la región denominada “El Pantano” en San Luis, como para explicar la génesis de otros yacimientos similares en Salta, La Rioja y otras provincias. Algunos trabajos realizados por Riggì en 1946 en San Luis y Milocco en 1977 en Pakistán, señalaron tímidamente anomalías que deberían haber incentivado a la revisión de dicho modelo pero ello no ocurrió hasta 1982, cuando Lacreu descubre evidencias de relleno de fracturas y posteriormente, en 1993 propone un modelo epigenético que constituye un nuevo marco teórico que permite justificar todas las anomalías observadas hasta la fecha.

**Key words:** Onix. Calcareous. Ore deposit. Epigenetic. Epithermal. Model

**Palabras clave:** Onix. Ónice. Calcáreo. Yacimiento. Epigenético. Epitermal. Modelo

### Introducción

El presente trabajo esta basado en las experiencias del autor, durante los casi 10 años en los que trabajó como geólogo minero a cargo de la exploración y explotación de canteras de ónices calcáreos de propiedad de la empresa Verde Onix S.C.A. Los trabajos comenzaron en las canteras Arita y Brach ubicadas en la Puna Salteña (1977 a 1981) y continuaron en las canteras Santa Isabel y Córdoba (1980 a 1986) ubicadas en la provincia de San Luis, todas en la República Argentina.

<sup>1</sup> Dpto. de Geología – UNSL - Av. Ej. De los Andes 950 5700 San Luis. E-mail: lacreu@unsl.edu.ar

Durante los trabajos de exploración (perforaciones a diamantina con recuperación de testigos) realizadas en las canteras de Salta, se fueron obteniendo resultados desalentadores desde el punto de vista económico por cuanto no se constató la supuesta continuidad de los mantos mineralizados. En efecto, en perforaciones realizadas a distancias de 10 m y menores aún, desaparecían los bancos de ónice que en los frentes de cantera tenían 1,5 m de espesor. Finalmente se abandonaron los labores y se trasladaron los equipos y al geólogo con su familia a la provincia de San Luis.

Posteriormente los trabajos realizados en la cantera Santa Isabel de la provincia de San Luis (1979 a 1982), tuvieron resultados altamente positivos tanto en lo económico como así también en el plano científico. Por una parte se pusieron en evidencia nuevas reservas con valores superiores a los tres millones de dólares y por otra, se tuvo la oportunidad de advertir varios rasgos geológicos contradictorios con el modelo singenético propuesto por Bodenbender y a la vez demostrativos de un proceso de mineralización epigenético.

En el presente trabajo se desarrollan aspectos comparativos de la evolución entre uno y otro modelo genético así como los argumentos geológicos que sirvieron en cada caso para sostenerlos.

### **Antecedentes bibliográficos comentados**

La primera mención documentada acerca del ónice de la cantera Santa Isabel es atribuida a Lallemand (1875), quién expresa “es muy recién que se me ha traído un hermosísimo pedazo de un mármol de los Cerros del Rosario. No he podido visitar todavía ese punto. Esta caliza es un mármol verdoso, limpio, claro trasluciente, un “Mármol Verdello” de superior calidad. Sobre la superficie contiene una delgada capa de ankerita, de una y media pulgada de grueso”. El mismo autor posteriormente (1888) manifiesta que la cantería en la provincia de San Luis es un arte “todavía desconocida”, de lo cual puede inferirse que en esa época aún no se había iniciado la explotación.

Bodenbender (1903) es quién realiza las primeras descripciones de la entonces denominada cantera El Pantano y establece las relaciones entre los bancos de ónice, los travertinos y las rocas del basamento. Además vinculó la génesis de la mineralización a aguas termales circulantes por la superficie, sincrónicamente con las erupciones andesíticas terciarias. Dichas soluciones “han disuelto en su camino, calizas granudas arcaicas, precipitándose otra vez el carbonato de calcio en forma de ónix.” Avanzó también en aspectos mineralógicos y texturales de la mineralización todo lo cual constituyó la base fundamental en la que se sustentaron los trabajos posteriores.

Barrie (1910) es quién por primera vez menciona que las canteras se encontraban en explotación. Luego Gerth (1914) informa que la empresa que las explotaba, A. Loiseau Bourcier, había estimado la vida útil del yacimiento en tres años aproximadamente. Por otra parte describe la cantera y menciona los afloramientos de ónice cercanos, hoy conocidos como Potrerillos y los de travertinos próximos al Cerro Tiporco.

La profundización del conocimiento de la denominada Cantera Santa Isabel, se debe a Kittl (1932, 1936), quién apoyándose en el trabajo de Bodenbender (1903) realiza una descripción mas detallada del yacimiento aportando nueva información sobre la génesis, la mineralogía y composición química del ónice, así como las vinculaciones entre las “tufitas” y las soluciones mineralizadoras con el vulcanismo Terciario presente en la región. Asimismo Kittl (1936), reconoce dos clases de tufitas: “las inferiores, que efectivamente alternan en su parte superior con los bancos de mármol y las superiores que aparecen por encima, pero separadas de las inferiores por una discordancia”. Las tufitas superiores fueron interpretadas por dicho autor como tufitas redepositadas cuaternarias, mientras que las inferiores las asignó al Plioceno.

Posteriormente Riggi (1946) produce un informe sobre la cantera Las Toscas, cercana a Santa Isabel, en el cual supone que la formación de los bancos calcáreos “es el producto de procesos

prevolcánicos, puesto que en la composición de los calcáreos aragoníticos o travertínicos no se ha observado la presencia de vidrio volcánico, lo mismo que en las capas calcáreas conglomerádicas con minerales del gneis encerrados en ellas”.

Los trabajos de Frutos (1959) y Bulacio (1975), son de naturaleza económica y en sus descripciones geológicas se reiteran los conceptos ya formulados anteriormente.

Lacreu (1981, 1982), mantiene el esquema estratigráfico propuesto por Kittl (1936) pero discrepa con las interpretaciones genéticas previas opinando que las soluciones postvolcánicas terciarias produjeron las mineralizaciones calcáreas por relleno de espacios abiertos y no por precipitación subaérea, agregando que el ónice calcáreo constituye la primer etapa y la aragonita la segunda etapa de la mineralización y que los potentes cuerpos de ónice se deben a mineralizaciones recurrentes. A pesar de ello Cassedane (1982), en la síntesis que realiza sobre la información existente, sostiene la precipitación subaérea.

Más recientemente Lacreu (1988), modifica la caracterización estratigráfica definiendo la unidad cenozoica basal como areniscas y areniscas conglomerádicas inmaduras (ex tufitas inferiores), sobre las que se apoyan concordantemente sedimentitas piroclásticas (tufitas redepositadas). Con referencia a los aspectos genéticos Lacreu (1989b), aporta nuevas hipótesis acerca del control estructural de la mineralización y sobre la vinculación entre los ónices calcáreos y los travertinos.

Lacreu y Di Paola (1992) estudiaron con mayor detalle la estratigrafía de la cantera Santa Isabel y alrededores, reconociendo que las piroclastitas superiores constituyen una secuencia volcanoclastica bicíclica, representando dos episodios volcánicos explosivos.

Otros yacimientos de ónice calcáreo de la República Argentina han sido objeto de estudios económicos originales como los realizados por Lizarraga (1974) en Jujuy y Terán de la Vega (1977) y Lacreu (1978) en Salta. Posteriormente Lacreu (1989a, 1992) analiza la estratigrafía y la mineralización de las canteras ubicadas al sur del Salar de Arizaro, provincia de Salta.

Este tipo de mineralizaciones asociada con travertinos es mencionada en San Juan (Bellio, 1955, 1956), La Rioja (Castaño y Ricci, 1972), Mendoza (Polanski, 1962). Otras menciones se encuentran en Angelelli (1941) y Angelelli *et al.* (1980, 1981).

En México los depósitos más importantes de tecali (ónice) fueron descritos por Barcena (1874), Ordoñez (1901, 1905), Flores (1909) y Wittich (1926) quienes mencionan la disposición de la mineralización en forma de mantos o costras, frecuentemente asociadas a travertinos y vetas alojadas en rocas de un basamento cristalino, o rellenando grutas en calizas. A pesar de no explicarse los mecanismos reguladores del emplazamiento en vetas o en mantos, las soluciones mineralizadoras son atribuidas a aguas meteóricas que disuelven calizas del basamento y quedan saturadas en bicarbonato de calcio, las cuales en algunos casos poseen cloruro de sodio y gases disueltos ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ).

En Italia el ónice es denominado «alabastro calcáreo». La región del Saluzze (Stella, 1907) en el curso inferior del río Po, presenta distintos tipos de calizas intercaladas dentro del basamento cristalino. Cerca de las localidades de Piasco y Busca se encuentran filones verticales con dirección NE-SO que presentan una costrificación también vertical.

Compagnoni *et al.* (1974) describen las características de un nuevo yacimiento descubierto cerca de Belmonte, Mezzano, a unos 10 km al SSE de Palermo. Dicha región es caracterizada como un gran campo filoniano ( $20 \text{ km}^2$ ) dentro de dolomitas triásicas, con aproximadamente 50 filones con dirección NNE-SSW, a veces con espesores superiores a 1 m y longitudes de hasta 7 km. Los filones se desarrollaron por relleno de fracturas subverticales distensivas cuaternarias, debido a la precipitación química de soluciones carbonáticas descendentes, asociadas a escasos depósitos detriticos como brechas y terra rosa, producto de la disolución de las dolomitas.

En Egipto, los principales yacimientos se encuentran al sur de El Cairo, en Wadi Sannur y Wadi

Assiuty. En dicho país el ónice calcáreo es denominado «alabastro egipcio» y se encuentra relleno de grutas dentro de calizas eocenas. Con referencia a su génesis, El Hinnawi y Loukina (1972), sostienen que el ónice se formó por recristalización de las calizas in situ y en su trabajo presentan una interesante descripción textural y estructural de la mineralización, así como de la composición química de varias muestras. Sin embargo Akaad y Nagggar (1963, 1964, en El Hinnawi y Loukina, 1972) opinan que las soluciones se originaron por aguas meteóricas que durante el Pleistoceno lixiviaron las calizas de la región y precipitaron el carbonato de calcio en las grutas en que hoy se lo encuentra.

En Pakistán, Milocco (1977), ha descrito varias canteras ubicadas en Belucistán donde domina un vulcanismo reciente. Interpreta que «el ónice se depositó durante una fase solfatárica relativamente calma, que fue interrumpida por numerosas convulsiones tardías durante las cuales la lava incandescente se sobrepuso sobre el fango calcáreo». Sin embargo hace notar que el ónice no presenta disturbios térmicos (metamórficos ni metasomáticos) a causa de las coladas suprayacentes, manifestando «e questo è un autentico rompicapo del punto di vista scientifico» (sic). Respecto de las soluciones calcáreas propone su procedencia desde las rocas eocénicas del Himalaya, lixiviadas por aguas de origen volcánico, que precipitaron lejos de su origen.

La única cantera de ónice calcáreo conocida en Brasil, se encuentra en Fervedeiro, al pie de la Sierra de Santana. Según Cassedanne (1978), el yacimiento está formado por un banco subhorizontal de carbonato, con dirección submeridiana, que apoya discordantemente sobre basamento arcaico de carácter metamórfico (en parte migmatítico) que aloja lentes de calizas cristalinas y tactitas. Los bancos calcáreos desaparecen bajo un espeso regolito. Cassedanne (1978), opina que el ónice de Fervedeiro originalmente fue un depósito de aragonita posteriormente transformada, durante la diagénesis, en calcita con un aumento de volumen in situ de aproximadamente 8% y debido a una disminución de la porosidad explica el excelente pulimiento (brillo) que se logra al manufacturarla. Las soluciones provendrían de una fuente termal con alto contenido en carbonato de calcio, el cual se habría depositado durante el Cenozoico en una pequeña cuenca labrada en rocas del basamento y luego cubierto por materiales detríticos.

Recientemente Metalidi *et al.* (1983) determinaron un área con mineralización de ónice calcáreo en Podolia, al oeste de Ucrania. Dicha región se caracteriza por la presencia de calizas masivas oolíticas del Cretácico superior, afectadas por zonas de fracturas de gran complejidad. El ónice es de color castaño-miel a amarillento y se presenta relleno de fracturas, como resultado de la precipitación del carbonato de calcio de aguas de bajas temperaturas que circulaban por las calizas, produciendo su lixiviación y la formación de cavernas. En las fracturas más anchas (0,5 a 0,8 m) el ónice se depositó sobre las paredes en forma de costras de espesores variables entre 5 y 35 centímetros.

## Antecedentes Geológicos

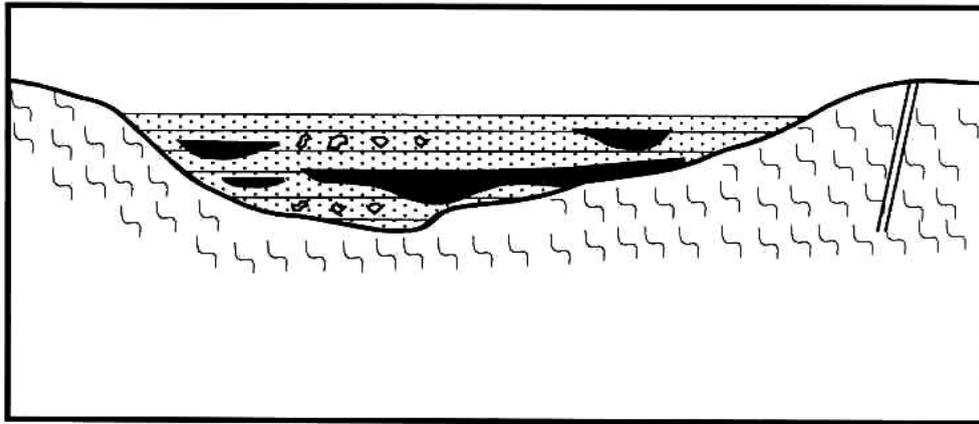
### **DESARROLLO DEL MODELO SINGENÉTICO**

Hasta fines de la década del '70, el origen de los yacimientos de ónice calcáreos de las provincias de San Luis y Salta, Argentina, se explicaba mediante un modelo singenético. Se consideraba que el ónice era el resultado de la precipitación química de calcita en el fondo de lagos permanentes o transitorios de diversa extensión, a partir de soluciones bicarbonatadas postvolcánicas. De este modo se justificaba la formación de depósitos horizontales, concordantes con los estratos de las rocas sedimentarias y piroclásticas que los contienen.

Este modelo, es compatible con el que explica las terrazas termales de Yellowstone, con la cantera de Fervedeiro en Brasil (Cassedanne, 1978) y con los depósitos de Tecali (ónice) en México los cuales fueron descriptos por Barcena (1874) y Ordoñez (1901, 1905) quienes mencionan la

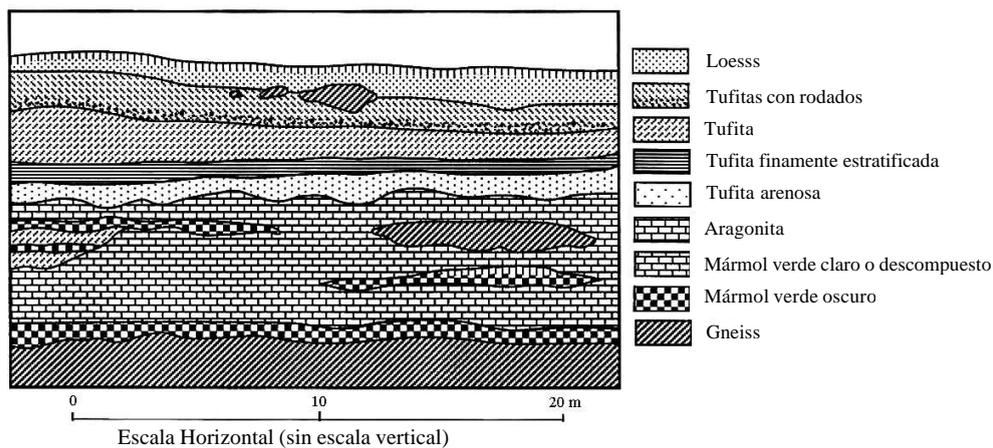
disposición del tecali formando mantos o costras frecuentemente asociadas a travertinos y también en forma de vetas alojadas en rocas del basamento cristalino.

La mención más antigua que se conoce en Argentina se atribuye a Bodenbender (1903) quien se refiere a los yacimientos de San Luis indicando que la mineralización se vincula con aguas termales circulantes por la superficie, sincrónicamente con las erupciones andesíticas terciarias. Dichas soluciones "han disuelto en su camino, calizas granudas arcaicas, precipitándose otra vez el carbonato de calcio en forma de onix" (Fig 1).



**Fig. 1.** Cantera Santa Isabel (San Luis) esquema de modelo singenético seguido por Bodenbender (1903), Kittl (1932), Riggí (1946) y otros.

Posteriormente Kittl (1932), apoyándose en el trabajo de Bodenbender (1903), realiza descripciones muy detalladas de la cantera Santa Isabel, incluyendo mapas y cortes, aportando además nueva información sobre la génesis, la mineralogía y composición química del ónice. Particularmente menciona la presencia de tufitas (cenizas volcánicas) por debajo y por encima de los bancos de ónice (Fig 2) y a estos los vincula con soluciones pos-volcánicas Terciarias.



**Fig. 2.** Reproducción de un perfil de la Cantera Santa Isabel, de Kittl (1932)

Angelleli (1941), menciona los yacimientos de ónice de varias provincias argentinas (Jujuy, Salta, San Luis, Mendoza, etc.) y en todos los casos vincula la génesis con soluciones postvolcánicas que escurren superficialmente y rellenan depresiones donde precipita el carbonato de calcio (Fig 1).

Se conocen dos trabajos que mencionan anomalías pero no fueron empleadas para cuestionar al modelo singenético y tan sólo han quedado registradas como curiosidades.

El primero de ellos (Riggi, 1946), se refiere a la cantera Las Toscas de San Luis en la cual advierte la ausencia de vidrio volcánico en el seno de la masa de ónice. Dicha autora señaló que dicha ausencia no era justificable si las soluciones hubieran sido pos-volcánicas, como se sostenía, ya que el agua o el viento hubiese aportado cenizas volcánicas al ambiente en el que se precipitaba el carbonato de calcio. En consecuencia, Riggi sugirió que las soluciones deberían haber sido pre-volcánicas explicando así, razonablemente, las ausencias de vidrio volcánico porque el carbonato ya habría estado cristalizado.

El segundo de los trabajos (Milocco, 1977), corresponde a canteras de Pakistán, en las que los mantos de ónice se encuentran entre coladas de lava (Fig 3), pero advierte, con sorpresa, que la parte superior de los mantos de ónice calcáreo no poseen evidencias de las modificaciones de origen térmico que debería haberse producido cuando lava caliente cubrió dicho manto. En este caso, el autor no ensayó una explicación y se limitó a expresar que "ello es un verdadero rompecabezas desde el punto de vista científico" (*sic*)

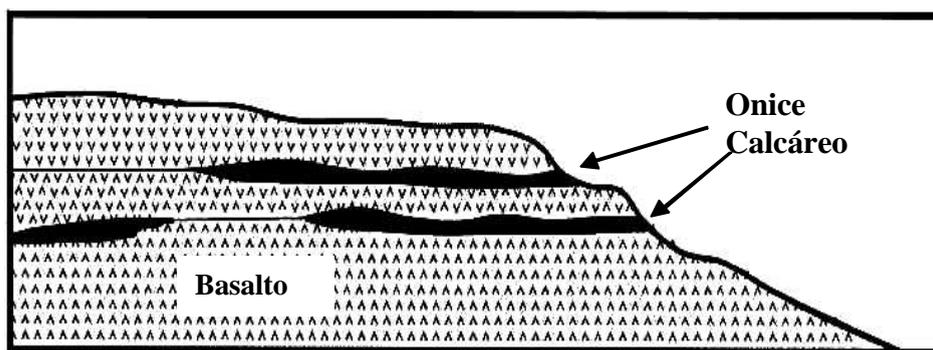


Fig. 3. Canteras de Belucistán (Pakistán), en Milocco (1977).

#### **DESARROLLO DEL MODELO EPIGENÉTICO**

Los trabajos de exploración y evaluación de los yacimientos de Salta y San Luis permitieron realizar observaciones detalladas en diferentes afloramientos, durante un tiempo prolongado (Lacreu, 1978 y 1982). En efecto, se descubrieron rasgos que indicaban la naturaleza epigenética de la mineralización, es decir que el ónice se formó por el relleno de fracturas preexistentes en las rocas. Sin embargo aún no se contaba con un modelo que explicara satisfactoriamente, ni el origen de los rasgos, ni el conjunto de las relaciones que mantenían entre sí. Dichos rasgos han sido esquematizados en las Fig. 4 y 5, y representan una síntesis de los aspectos comunes hallados en las Canteras de Salta y San Luis.

La Fig. 4 muestra la presencia de diferentes rocas sedimentarias con superficies de contactos discordantes entre unas y otras (a/b) y en ocasiones concordantes (b/f).

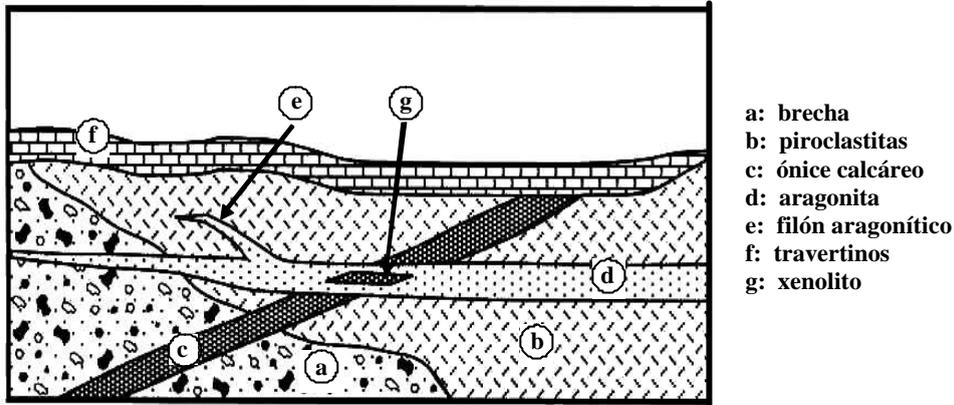


Fig. 4. Relaciones entre rocas sedimentarias y mineralización de ónice

Dentro de estas rocas se alojan vetas inclinadas de ónice calcáreo (c) y horizontales de aragonita (d). Asimismo se representa la presencia de un xenolito (g) que indica que la veta (c) ya se había formado cuando se produjo la fractura que luego fue rellenada por la segunda veta mantiforme (d). Por otra parte, esta veta aragonítica posee ramificaciones hacia el techo (e), lo cual no podría haber sucedido si esa roca no fuese preexistente.

Otro rasgo muy importante, también presente en Salta y en San Luis, es el hecho que las vetas horizontales de ónice, no sólo están alojadas en forma casi concordante con las rocas sedimentarias (y/o piroclásticas) sino que atraviesan (horizontalmente) a las rocas ígneas y metamórficas (Fig. 5).

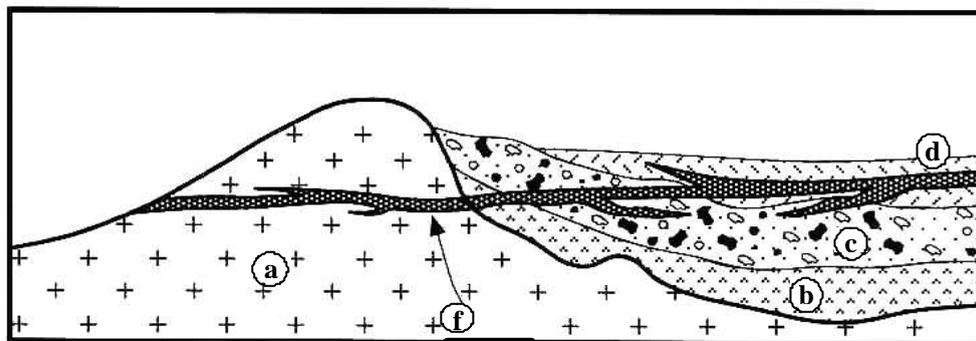


Fig. 5. Mantos de ónice horizontales (f) alojados en rocas sedimentarias (b-c-d) y graníticas (a) en el caso de Salta (o metamórficas en el caso de San Luis)

Los mencionados rasgos de carácter estructural están acompañados por características texturales propias de mineralizaciones producidas por rellenos de fisuras.

Los rasgos distintivos de los cuerpos mineralizados son **A**: su disposición mantiformes (subhorizontal) que guardan relaciones de pseudoconcordancia con las sedimentitas y de discordancia con los esquistos y **B**: las estructuras internas. Dichos cuerpos son clasificados como:

- Simples con espesores de 0,10 a 1,50 m debidos a un único pulso de mineralización.
- Complejos que alcanzan los 10 m de potencia, formados por la recurrencia de varios pulsos.

Los mantos simples (Fig. 6a) poseen estructuras internas típicas que tienen la mitad inferior compuesta por Onice Calcáreo compacto y la mitad superior porosa. Contrariamente, los mantos complejos (Fig. 6b) presentan una alternancia de capas compactas y porosas como resultado de las polipulsaciones.

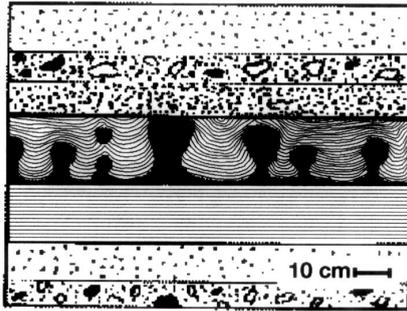


Fig. 6a. Manto Simple

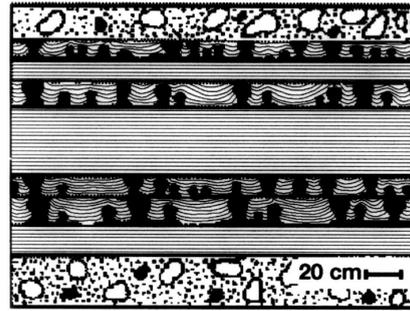


Fig. 6b. Manto Complejo

Finalmente, luego de analizar varias alternativas, Lacreu (1993, 2000) propuso un modelo epigenético para la cantera Santa Isabel de San Luis esquematizado en la Fig. 7, mediante el cual se explican los mecanismos a través de los cuales se produjeron las fracturas y el posterior relleno de las mismas por calcita u ónice calcáreo

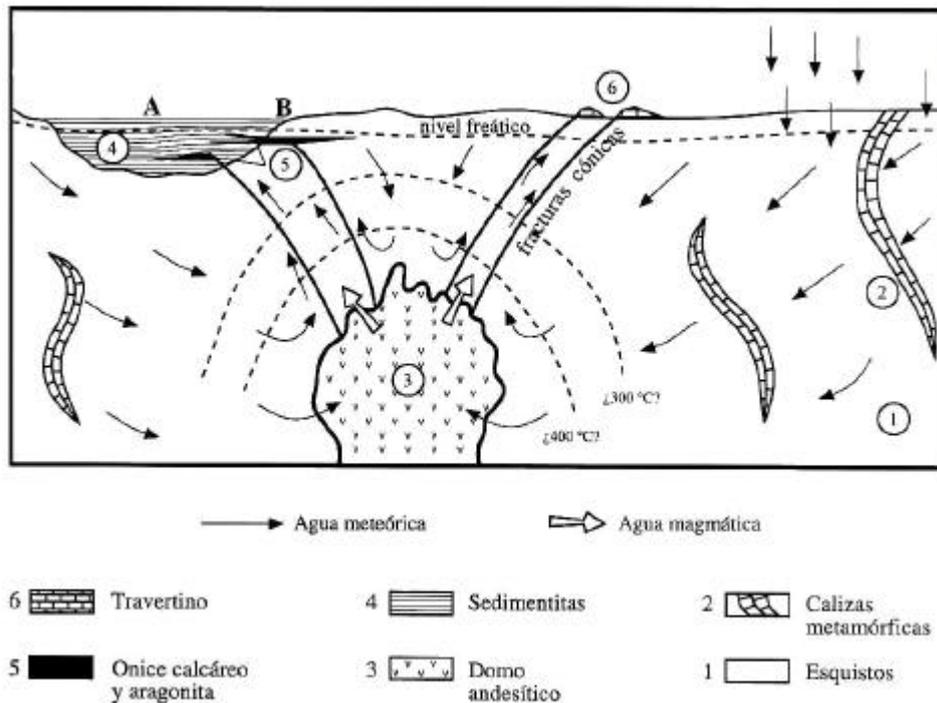


Fig. 7. Modelo epigenético propuesto para la cantera Santa Isabel de San Luis (Lacreu, 1993,2000)

Sintéticamente se propone un modelo epigenético de tipo epitermal, originado a partir del desarrollo de un sistema geotermal durante el Plioceno. Tal sistema, comprende la existencia de una fuente de calor debido a una intrusión magmática, o a un flujo de calor regional, e incluye a las aguas afectadas por dicho calor.

En los sistemas geotermales quedan involucrados dos aspectos: el descenso marginal de aguas frías y el ascenso convectivo de los fluidos calientes en razón de su menor densidad, pero en el caso de Santa Isabel dicho sistema geotermal ya no es activo por lo que podría ser denominado "geotermal fósil", aunque se prefiere la denominación de epitermal, lo cual ya denota su inactividad.

En este modelo se asigna un rol fundamental al emplazamiento de los domos volcánicos traquiandesíticos de elevada viscosidad tal como los reconocidos en las cercanías de la Cantera Santa Isabel.

Se considera que el magma viscoso, durante el ascenso y antes de su aparición en la superficie, interaccionó con aguas superficiales desarrollando un conjunto de procesos de carácter localizado (Fig. 7), que condujeron a la mineralización calcárea. Dichos procesos desde un punto de vista evolutivo pueden enunciarse del siguiente modo:

- 1) Desarrollo de fracturas cónicas que divergen desde el cuerpo ígneo que está ascendiendo y que pueden seguir dos trayectorias: a) se refractan en los planos de estratificación (ver A), o en las fracturas de exfoliación (ver B), generando así virtuales aperturas subhorizontales; b) llegan hasta la superficie del terreno (ver 6) . En ambos casos dichas fracturas desarrollan una permeabilidad secundaria a través de la cual migran los fluidos mineralizadores.
- 2) El sistema hidrológico de la región, previo a la existencia del vulcanismo, estuvo integrado por aguas subterráneas de origen meteórico, con abundante bicarbonato de calcio, debido a la lixiviación de calizas metamórficas presentes, tanto en las áreas de recarga hidrológica como en el substrato por donde ellas circularon.
- 3) Estas aguas bicarbonatadas son calentadas por conducción térmica a partir de las rocas de caja próximas al cuerpo ígneo, desde que éste comienza a aproximarse a los niveles superficiales. El gradiente geotérmico instalado en la región favorece la estratificación densimétrica de las soluciones y su consecuente convección a través de los canales abiertos constituyéndose de este modo en un sistema geotermal.
- 4) La presión hidráulica y el desplazamiento de bloques a lo largo de las fracturas cónicas desarrollan sucesivas aperturas subhorizontales en las cuales las soluciones geotermales bicarbonatadas cálcicas sufren un proceso de descompresión brusca y la consecuente ebullición adiabática. Este proceso provoca la rápida sobresaturación y la precipitación del carbonato de calcio en forma coloidal.
- 5) Al mismo tiempo se separa la fase gaseosa ( $\text{CO}_2$ ) que es expulsada hacia la superficie o bien queda atrapada en las soluciones residuales presentes en aquellos canales que quedaron sellados y desconectados de la superficie.
- 6) Debido a la obturación circunstancial de los canales de conexión con la superficie, es probable que en el interior de los espacios abiertos se produzca el incremento de la presión parcial de la fase gaseosa. El desplazamiento ascendente del ( $\text{CO}_2$ ), desde los niveles medios de los mantos produce la deformación de la masa calcárea gelatinosa, aún no cristalizada, desarrollando las crestas y oquedades típicas y exclusivas de la mitad superior de dichos mantos (Figs. 6a y 6b)
- 7) La paulatina deshidratación de la masa gelatinosa provoca un aumento en la viscosidad y densidad del carbonato que luego pasa a estado cristalino.
- 8) El ónice calcáreo corresponde al primer estadio de la mineralización, que tiene lugar a temperaturas próximas a los 220 °C y en la cual interviene una mezcla de aguas meteóricas y

juveniles. Esta mineralización es recurrente debido a lo cual pueden presentarse varios mantos superpuestos.

9) La aragonita corresponde al segundo estadio de la mineralización, a temperaturas próximas a los 280°C. Los valores menores de la relación isotópica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  (Lacreu, 2001) y del contenido de litio muestran que estas soluciones mineralizadoras poseían un menor aporte de aguas juveniles. Ello se explica debido a que la mayoría de dichas aguas fueron consumidas durante el primer estadio.

10) Entre el primer y segundo estadio existió un prolongado período de tiempo que no puede determinarse pero cuya existencia se infiere debido a que el ónice calcáreo tuvo suficiente tiempo para cristalizar y comportarse frágilmente previo al segundo estadio, dado que la aragonita rellena fracturas que cortan tanto al ónice como a las rocas de caja.

11) Previo al segundo estadio el cuerpo ígneo probablemente ascendió por efecto de presiones magmáticas internas, provocando un nuevo desplazamiento a lo largo de las fracturas cónicas y una nueva fracturación de las rocas de caja así como de los mantos de ónice previamente consolidados. A la vez dicho ascenso provoca el incremento del gradiente geotérmico de la región, por lo que la mineralización del segundo estadio es de mayor temperatura.

12) Las manifestaciones superficiales subaéreas del sistema geotermal muestran una mayor participación de aguas meteóricas y los precipitados calcáreos dan lugar a travertinos compuestos por calcita, proveniente de precipitación inorgánica y biogénica.

## Conclusiones

El ónice calcáreo responde a un modelo de mineralización epigenética, epitermal por rellenos de fracturas y los rasgos que contradicen fuerte e indubitablemente el carácter singenético de la mineralización son:

- 1) La presencia de mantos horizontales de ónice alojados en rocas ígneas o metamórficas, no admite imaginar una mineralización de tipo singenética.
- 2) La existencia de ramificaciones de las vetas cortando la estratificación de las sedimentitas infra y suprayacentes, demuestra la existencia previa de estas rocas.
- 3) La presencia de xenolitos de ónice dentro de las vetas aragoníticas sugiere mecanismos de epigénesis.
- 4) Las estructuras bandeadas internas de los mantos, denotan la existencia de procesos de rellenos de fracturas, desde los bordes hacia el centro.
- 6) La ausencia de vidrio volcánico advertido por Riggi (1946) no se contrapone al carácter posvolcánico de las soluciones, que se sigue sosteniendo, pero ahora se justifica porque la precipitación del ónice ocurrió en profundidad, fuera de la influencia de los procesos geológicos exógenos.
- 7) La ausencia de modificaciones térmicas en el techo de los mantos de ónice de Pakistán, señaladas por Milocco (1977) obedece a que el ónice se introdujo en espacios abiertos en las coladas de lava preexistentes, luego que estas se hubiesen enfriado.

**Agradecimientos:** A los árbitros, Dres. A. Toselli y J. Avila, por sus acertadas observaciones y sugerencias.

## Referencias

- Angelelli, V., 1941. Los yacimientos de minerales y rocas de aplicación de la República Argentina, su geología y relaciones genéticas. Bol. N°50. *Dir. Nac. de Min. y Geol., Min. Agr. Nac.* Buenos Aires.
- Angelelli, V.; Schalamuk, I. y Fernandez, R., 1980. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región centro cuyo. *Secr. Est. de Min. Nac., An. XIX.* Buenos Aires.
- Angelelli, V. y Schalamuk, I., 1981. Yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación. *Geol. de la Prov. de San Luis. VIII Congr. Geol. Arg;* Rel.:265 286.
- Barcena, M., 1874. Las rocas de Tecali. *La Naturaleza.* (3):7 9. Mexico.
- Barrie, G., 1910. Informe sobre el estado de la minería en la provincia de San Luis. *Min. de Agr. Nac. Sec. Geol. Miner. y Min. An. IV* (4). Buenos Aires.
- Bellio, N., 1955. Los Yacimientos de Travertino en la Provincia de San Juan, zona de El Salado y La Laja, Dpto. Albardón. *Estudio Geológico Económico. Rev. Min. Xxi* (3 4):53 75, Buenos Aires.
- Bellio, N., 1956. Los Yacimientos de Travertino en la Provincia de San Juan, zona de El Salado y La Laja, Dpto. Albardón. *Estudio geológico económico. Rev. Min. XXII* (1):17 51, Buenos Aires.
- Bodenbender, G., 1903. Comunicaciones mineras y mineralógicas. Onix mármol de las provincias de San Luis y Mendoza. *Acad. Nac. de Cs. Bol.* 17:359. Córdoba.
- Bulacio, Y., 1975. Estudio Geológico Canteras de Mármol onix. (cálculo de reservas). Pdo. Rosario, Dpto. Pringles, Prov. de San Luis. Carpeta N° 450. *Dir. G. Min. San Luis.* Inédito.
- Cassedane, J. J., 1978. O onix de Fervedeiro. *Mun. de Santana do Matos Rio G. do Norte. Min. Metal. XLII,* (403):10 15. Brazil.
- Cassedanne, J. J., 1982. L`onix de San Luis (Argentine). *Rev. de Gemm.* (70):11 15. France.
- Castañón, O.F. y Ricci, H.I., 1972. Geología de los afloramientos travertínicos de Rio Potrero Grande Sa. de Famatina La Rioja. *V Cong. G. Arg Actas* II:55 67.
- Compagnoni, R.; Sandrone, R.; Zucchetti, S., 1974. Il giacimento di alabastro calcareo di Belmonte Mezzagno nei "Monti di Palermo". *1 Con. Int. s. Coltiv. di Pietre e Min. Litoidi.* Actas, Sessione IIa, Com. 8. Torino, Italia.
- El Hinnawi, E.E. y Loukina, S.M., 1972. A contribution to the geochemistry of "Egyptian Alabaster". *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* (17):215 221. Springer Verlag.
- Flores, T., 1909 Los yacimientos de tecali de los alrededores de Tequisistlan, (Estado de Oaxaca). *Soc. Geol. Mex. Bol.* 6:VII VIII y p.67 78. Mexico.
- Frutos, R. F., 1959. Informe sobre la cantera de mármol onix "Santa Isabel", "Córdoba" y "Potrerillos". Pdo. del Rosario, Dpto. Pringles, Pcia. de San Luis. Carpeta N° 106. *Dir. Prov. Min. San Luis.* Inédito.
- Gerth, E., 1914. Constitución geológica, hidrogeológica y minerales de aplicación de la provincia de San Luis. *Min. Agr. de la Nac. Sec. Geol. Miner. y Min., An.X* (2). Bs As.
- Kittl, E., 1932. El Yacimiento de Mármol Verde de la Cantera Santa Isabel. (Pcia. de San Luis). *An. Mus. Nac. de Hist. Nat. "B. R."* XXXVII, *Min. y Petr.* 12:171 192.
- Kittl, E., 1936. Estudio geológico de la Provincia de San Luis, especialmente sobre los volcanes Terciarios. *An. Mus. Nac. de Hist. Nat. "B. R."* XXXVIII, *Min. y Petr.* 27:349 404.
- Lacreu, H. L. 1978. Proyecto de exploración en Cantera Arita, Secr. Est. Min. de la Nación, inédito. Buenos Aires.
1981. Cantera "Santa Isabel. En Guía de viaje precongreso Geol. Minero por M.K. Brodtkorb y A. Brodtkorb. *VIII Congr. Geol. Arg.* San Luis.
1982. Descubrimiento de nuevas reservas de ónix en la Cantera Santa Isabel. *Pan. Minero* 61:18 23
1988. Exploración de Onice Calcáreo en la Cantera Santa Isabel, Dpto. Pringles, Pcia. de San Luis. *III Congr. Nac. de Geol. Ec.* 1:39 56.

**Recibido:** 18 de octubre de 2004

**Aceptado:** 9 de noviembre de 2004

