

CAPITULO 9

MINERALES Y PIEDRAS ORNAMENTALES

AGATAS y AMATISTAS

Los minerales y las piedras que puedan tallarse, pulirse, teñirse para fines ornamentales, representan recursos minerales de mucho interés porque además del proceso extractivo resulta relativamente fácil lograr una integración vertical, hasta llegar al producto de consumo directo.

De toda la lista de gemas, piedras preciosas y piedras semipreciosas, Uruguay posee gran variedad de materiales silíceos del grupo de las ágatas y las amatistas. Estas piedras han sido explotadas en el Dpto. de Artigas, en la zona de Los Catalanes, como relleno geódico de derrames basálticos desde hace más de un siglo. En las primeras décadas, se exportaban en bruto, pero a partir de la década de los 70, se instalaron varias empresas que elaboraban los materiales hasta la preparación de la joya, del recuerdo o de la pieza ornamental directamente utilizable.

El gran problema de estos recursos es que son materiales suntuarios, prescindibles en periodos de economía deprimida. Sin embargo, la belleza que adquieren las piezas elaboradas, constituye siempre un atractivo irrenunciable para ciertos sectores de cualquier sociedad y ello hace que, para un país de producto Bruto Nacional tan reducido (U\$S 18.000 millones) pueda ser significativo el aprovechamiento de estos minerales.

La tendencia actual, - como en casi todos los sectores de la minería -, es una disminución de producción por dificultades de competitividad en el mercado mundial. Ello obedece a 4 razones fundamentales, que si se logran revertir, se podría generar un importante foco de desarrollo en el Dpto. de Artigas:

1. Nunca han existido estudios sistemáticos, con financiación constante, para evaluar las verdaderas reservas de ágata y amatista en la zona productora, ni la Dirección de Minería ni las empresas, se han preocupado nunca de este problema; cuando el sector funciona no se ocupan en invertir en estudios, porque la empresa es rentable; cuando no funciona, no tienen capital para los estudios.
2. Las empresas han competido entre sí en vez de asociarse, porque con un sector productivo importante, todos se benefician. Hace ya mucho tiempo, que una empresa obtuvo mercado para rodajas de ágata masa (después se verán las definiciones) teñidas de un particular tono de rojo anaranjado a unos 2 - 3 dólares USA por kilo; 2000 a 3000 dólares USA por tonelada) e instaló una planta con 10 sierras de diamante, montó laboratorios, contrató técnicos y logró el producto deseado.

El ágata masa es una calcedonia gris no bandeada que no sirve para ceniceros ni para ninguna otra pieza ornamental. Sirve solamente para hacer morteros de ágata para los laboratorios y se exportaba a U\$S 60 por tonelada, ya que era un subproducto no aprovechable de la explotación de amatista. La empresa que fabricaba ágatas teñidas. Comenzó comprando ágata masa a U\$S 60/ton pero a los tres meses costaba U\$S200 y a los 6 meses no se conseguía por menos de U\$S500/ton, con lo cual quebró la empresa, porque no podía obtener beneficios seguros de su proceso de transformación, con un costo tan alto de materia prima. cualquier técnico iniciado en el problema de corte de rodajas de ágata sabe que el rendimiento en rodajas de cada bocha, es inferior al 30

% del producto original, como se demuestra gráficamente en el Figura No.9-1. La asociación de las empresas permitiría ofertas más voluminosas incluyendo piezas excepcionales que facilitarían la venta de productos de segunda calidad.

3. Al no haberse resuelto exactamente el problema de la génesis del amatista no se sabe con precisión los trabajos de descubierta a realizar y normalmente, buena parte de los costos de producción se invierten en tareas estériles de limpieza y excavación en áreas improductivas. Solamente 3 trabajos son conocidos por los autores que se hayan dedicado al problema de la génesis de las amatistas en Uruguay: BOSSI y CAGGIANO (1974), BOSSI (1978), MONTAÑA Y BOSSI (1994).
4. La tolerancia de la Dirección Nacional de Minería y Geología ha permitido durante lustros (o décadas) que buenos yacimientos estén impedidos de ser explotados y no pueden acceder a ellos las empresas realmente interesadas en obtener beneficios por extracción y beneficiación de materiales silíceos.

La empresa que fabricaba rodajas teñidas, comenzó comprando ágata masa a U\$S 60/ton pero a los tres meses costaba U\$S 200 y a los 6 meses no se conseguía por menos de U\$S 500/ton, con lo cual quebró la empresa, porque no podía obtener beneficios seguros de su proceso de transformación, con un costo tan alto de materia prima.

Cualquier técnico iniciado en el problema de corte de rodajas de ágata sabe que el rendimiento en rodajas de cada bocha, es inferior al 30 % del producto original, como se demuestra gráficamente en la figura N°9-1.

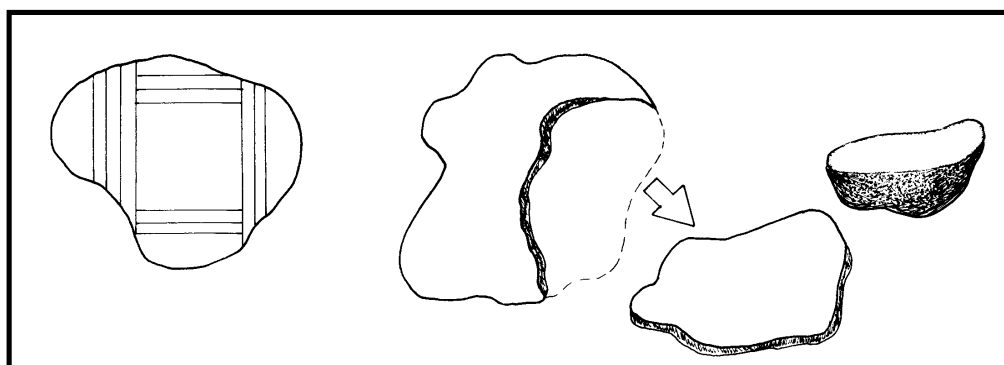


Figura N°9-1- Esquema de corte de una geoda de ágata.

La asociación de las empresas permitiría ofertas más voluminosas incluyendo piezas excepcionales que facilitarían la venta de productos de segunda calidad.

Los autores de este ensayo creen que la actividad extractiva e industrial vinculada a las ágatas y amatistas, puede reflatarse rápidamente con algunas medidas que reviertan los problemas que se acaban de describir y la modificación de criterios por parte del Estado.

El amatista de Uruguay es de excelente color y en Idar-Oberstein, clásico centro alemán de lapidación de amatista y todo tipo de material silíceo, es considerada como del color que coincide exactamente con la piedra zodiacal, porque es exactamente el color que se extraía de Oberstein antes de agotarse el yacimiento.

Es conocido históricamente, que cuando se agotaron esos yacimientos alemanes, algunos pobladores de esa zona vinieron a radicarse al Uruguay y criticados por unos, elogiados por otros, permitieron desarrollar la extracción de amatista y ágata que llegó hace algunos años a ocupar casi 1000 operarios.

El punto de partida para hacer que la producción de Uruguay sea competitiva es reducir al máximo los costos de extracción y ello solamente se logra si se implementa con urgencia un programa que resuelve el problema de la génesis del amatista. Existen geólogos idóneos en el tema, existen capataces con larga experiencia, hacen falta empresarios que se reúnan y decidan soportar investigación durante dos años.

CONCEPTOS BASICOS

Las amatistas son variedades de cuarzo cristalizado que desarrollan color violeta en los extremos de los cristales. La causa del color violeta fue discutida durante décadas pero hoy existe quasi unanimidad en que es debida al equilibrio entre iones Fe_2 y Fe_3 en posiciones equivalentes como para permitir resonancia electrónica (DENNEN y PUCKETT, 1972)

Las ágatas son variedades de calcedonia. Se reconocen dos tipos fundamentales: ornamentales que poseen diseños atractivos y permiten fácilmente el teñido de alguno de sus niveles; industriales, de gran homogeneidad (ágata masa) para cuchillas de balanzas, morteros, cojinetes.

Estos minerales se hacen valiosos cuando alcanzan determinado tamaño, rellenando cavidades de diámetro igual o superior a 10 cm dentro de las coladas basálticas. Este tamaño de cavidad tiene una posición bastante definida dentro de cada colada, deducido de muchos miles de observaciones.

9-1-AMATISTA

Por su color y la dureza elevada (7 en la escala de Mohs) es una piedra semi-preciosa de cotización internacional y su precio varía según tamaño de cristal, intensidad de color y presencia o no de imperfecciones.

En Uruguay no existen tarifas ni criterios oficiales de comercialización y por ello serán utilizados los valores del Boletim de Preços del Departamento Nacional de Produção Mineral de Brasil, que permite reproducción de datos siempre que se cite la fuente.

Para el amatista lapidada la escala de precios varía según tonalidad-calidad y peso en quilates (1 quilate = 200mg) como se expone en el cuadro siguiente con valores en dólares USA por quilate:

ESCALA DE TONO DE COLOR Y CALIDAD					
PESO (ct)	EXTRA	FUERTE	MEDIA	DEBIL	CLARA
< 3	8	2	-----	-----	-----
3-10	12	3	1	-----	-----
10-25	15	5	2	-----	-----
>25	17	7	3	1	-----

Las amatistas de color débil o claro tienen muy poco valor y prácticamente no se utilizan para el tallado por esa razón. En cambio calentadas las piezas en un baño de arena a temperatura alta pero inferior a 570°C, toman un intenso color naranja que les permite ser comercializadas como citrino, a precios equivalentes a los de las amatistas de buena calidad. Algunos ejemplos tomados al azar del Boletim de Preços de junio de 1993 muestran la relación para piedras talladas y calibradas.

AMATISTA FUERTE	CITRINO FUERTE
-----------------	----------------

DIMENSIONES EN mm	PRECIO (u\$s)	REDONDA	CUADRADA	REDONDA	CUADRADA
3	UNITARIO	0,28	0,35	0,28	0,35
5	POR QUILATE	1,50	1,50	1,20	1,20
		OVAL	RECTANGULAR	OVAL	RECTANGULAR
6 X 5	POR QUILATE	1,50	1,50	1,10	1,10
10 X 8	POR QUILATE	1,50	1,50	1,10	1,10

Las mismas piedras, martilladas para lapidación, disminuyen sensiblemente de precio, tomando nuevamente valores de la misma fuente:

PESO EN GRAMOS	AMATISTA				CITRINO			
	EXTRA	FUERTE	MEDIA	CLARA	EXTRA	FUERTE	MEDIA	CLARA
1-2	3,50	2,65	1,16	0,58	1,70	0,90	0,52	0,17
5-8	10,00	7,30	4,60	1,90	7,30	5,30	2,60	0,70
>10	15,00	10,50	8,10	-----	11,00	9,30	4,50	1,35

En especies para colección, de formas curiosas en drusas o geodas, los precios promedio en dólares USA /Kg son, según el Boletim de Preços, los que se exponen a continuación:

AMATISTA			
	CALIDAD EXTRA	COLOR FUERTE	U\$S 15/Kg
		COLOR MEDIO	U\$S 12/Kg
	CALIDAD NORMAL	COLOR FUERTE	U\$S 6/Kg

En esta modalidad, el criterio no tiene comercialización estandarizada.

9-2-AGATAS

Las ágatas se comercializan en bruto, aserrados, y pulidos o en piezas terminadas como ceniceros, aprieta-libros, etc. Las que experimentan algún proceso posterior, son normalmente teñidas luego del primer aserrado.

El ágata en bruto se comercializa en 3 formas principales: ágata listada con bandas gruesas, ágata gris masa y pedazos. Para estas tres categorías, el boletim de preços indica los siguientes valores en U\$S por unidad.

PESO (KG)	LISTADA	GRIS	EN PEDAZOS
0 - 3	2.75	1.20	0.60
3 - 6	3.85	1.50	0.88
6 - 10	6.05	2.20	1.60
10 - 20	7.70	3.40	2.20
> 20	11.00	5.50	-

Las geodas de ágata aserradas y pulidas se comercializan a valores comprendidos entre 6 y 12 U\$S/Kg.

También en Brasil existe cotización precisa para las chapas finas y gruesas de ágata aserrada y pulida en U\$S/pieza, U\$S/cm² y U\$S/Kg según tres niveles de calidad. Aquí serán tomados solamente algunos ejemplos indicativos para mostrar la situación del mercado mundial en 1993. Las cifras se expresan en U\$S/Kg.(Q : calidad)

AREA (cm ²)	FINAS			GRUESAS		
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃
10 - 30	18	13	9	-	-	-
80 - 120	14	10	7	4	3	2
200 - 250	32	24	15	4.5	3.5	2

Para el caso de los ceniceros de ágata, que exigen buen diseño, teñido intenso y terminación correcta, los valores en U\$S/Kg son :

AREA (cm ²)	U\$S/Kg	U\$S/Pieza
50 - 80	7 a 12	1 a 2
160 - 200	4 a 7	3 a 7

Estas cifras fueron colocadas para dar una idea de los valores en el mercado mundial hacia 1993, con la intención de mostrar principalmente relaciones de precios. Para estos materiales ornamentales la posibilidad de fluctuación es muy grande tanto en el volumen de ventas como en el valor de comercialización.

Se observa sin embargo, de manera notoria que el precio de las gemas talladas y de las rodajas de ágata cortadas y pulidas es significativamente más elevado que los materiales en bruto o semibeneficiados. Las ágatas bien teñidas tienen precio doble de las que son teñidas con defectos o tienen algunas fisuras.

En efecto, cada colada de basalto tiene una estructura interna similar, con espesores variables entre 20 y 60 metros, conteniendo en la base basalto de grano muy fino, lajoso, en la parte central basalto masivo de grano normal (0,3 a 0,8 mm) y un nivel superior poroso con cantidad de vacuolas de 1 a 10 mm de diámetro parcialmente rellenas de ceolitas y calcita. En la figura N°9-2 se muestra en corte la estructura interna de una colada normal y de una colada geódica conteniendo enormes masas silíceas en el tercio superior de su desarrollo, inmediatamente debajo del nivel vesicular del tope del derrame. Estas geodas silíceas son de formas irregulares pero siempre con esfericidad periférica mostrando la existencia de presión interna mayor a la de la lava semilíquida que las envuelve.

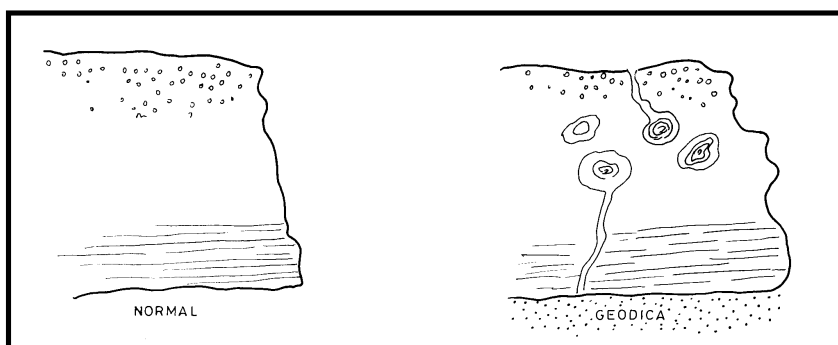


Figura N° 9-2. Estructuras interna de coladas basálticas

Algunos ejemplos de diseños particulares muestran la existencia de esa presión de vapor elevada en el interior de la masa silíceo como es el caso frecuente de observar en las ágatas bandeadas con núcleo hueco en el que se desarrollan pequeños cristales (ver figura N°9-3).

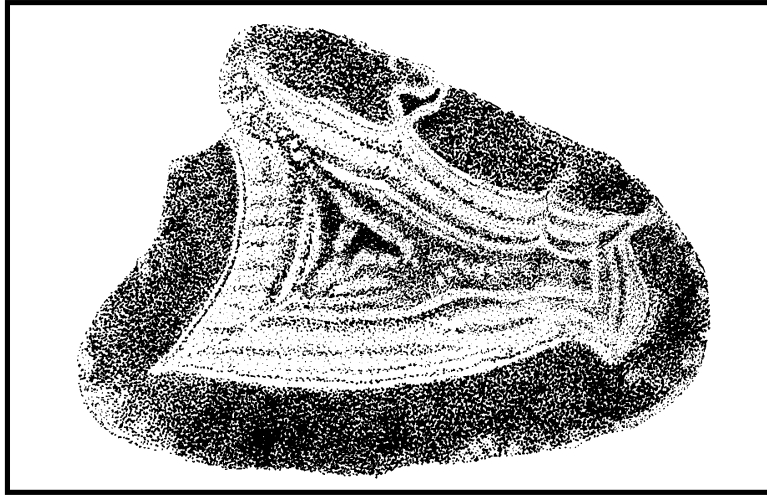


Figura N° 9-3. Agata fostificada.

Ciertas morfologías hidrodinámicas sirven para mostrar la dirección de escurrimiento de la lava y para indicar que el material geódico ya estaba formado como gel silíceo antes de consolidarse totalmente la roca volcánica. En la figura N° 9-4 se muestra en planta y perfil la morfología de ciertas geodas (casco de burro en la jerga minera) que reúnen esas condiciones.

Esas geodas silíceas se desarrollan exclusivamente en derrames basálticos próximos a zonas de areniscas y existen abundantes observaciones mostrando granos de arena parcialmente digeridos en cristales de amatista, en zonas de ágatas bandeadas y en cristales de cuarzo incoloro. BOSSI y CAGGIANO (1974) publicaron una microfotografía donde muestran un grano de cuarzo redondeado disolviéndose en el interior de un cristal de amatista que luego fue reproducido en BOSSI (1978).

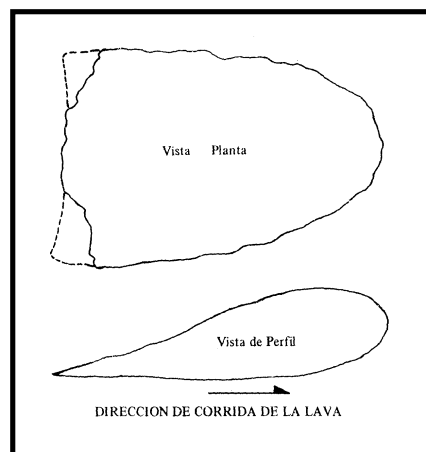


Figura N° 9-4. Morfología de geodas.

Para los autores de este ensayo, resulta evidente, por observaciones naturalistas, que las geodas silíceas se han formado por digestión de arena en las lavas basálticas durante su derrame; hay dos mecanismos posibles y confirmados: filones descendentes de una voladora como es la conclusión de BOSSI y CAGGIANO (1974); arranque de bloques de arenisca del piso, como fue demostrado por MONTAÑA y BOSSI (1993).

9-3. GENESIS DE GEODAS SILICEAS

Este aspecto resulta fundamental para encarar el problema geológico-económico de explotación rentable de amatista y los subproductos sistemáticamente asociados a ella, tales como ágata bandeada, ágata masa, cristales de cuarzo incoloro...

Este proceso genético ha sido motivo de interpretaciones muy variadas incluyendo gases aprisionados que reaccionan con la roca confinante, cavidades que luego se rellenan con sílice hidrotermal, soluciones residuales del propio magma basáltico, areniscas englobadas durante el ascenso y/o el derrame.

De las experiencias de síntesis se hace necesario temperaturas entre 200 y 300 °C así como posibilidades de equilibrio $Fe_2 Fe_3$ con un potencial de óxido- reducción adecuado.

Las observaciones realizadas en los yacimientos uruguayos de la zona de Los Catalanes en el Dpto de Artigas y fenómenos geológicos observables en los alrededores de Curtina (Dpto. de Tacuarembó), conectan sistemáticamente los niveles geódicos silíceos a digestión de arena por el magma basáltico.

Otro elemento a tener en cuenta es que el 90 % de las cortezas de las geodas que contienen amatista es de material calcedónico mal definido, término intermedio entre arenisca y sílice geódica.

Por otro lado, las geodas de amatista presentan forma irregular y menos de 20 % de relleno, mientras que las geodas de ágata y de cuarzo blanco, presentan formas regulares y relleno casi total.

Las observaciones del área de Los Catalanes en el Dpto. de Artigas (BOSSI Y CAGGIANO, 1974) sugieren que la génesis de las geodas silíceas se vincula a incorporación de arena en la lava mientras se encuentra fluída y a alta temperatura. El hallazgo de filones descendentes en los niveles vesiculares que se transforman en calcedonia y amatista a medida que se adentran en el cuerpo basáltico, es uno de los argumentos más sólidos utilizados.

Los referidos autores utilizaron los datos físico químicos de HOLLAND (1967) y concluyeron que entre 800 y 1000 °C las lavas basálticas eran capaces de disolver hasta 3 % de sílice en peso.

Estos datos teóricos coincidían sorpresivamente con las cifras de las empresas extractivas que lograban valores de 80 Kg-m³ de materiales silíceos en las explotaciones, lo que representa un 2 - 3 % en peso.

En lo esencial, BOSSI y CAGGIANO (1974) suponen el siguiente proceso genético conducente a las geodas silíceas: arena volando en el momento en que se derrama la lava, cae sobre la superficie agrietada y se introduce hasta las zonas aún fluídas a 800 - 1000 °C de temperatura; el agua liberada por cristalización del basalto, en estado supercrítico, disuelve la arena y forma enormes "gotas" de sílice y agua; en este momento se define la morfología del relleno pero aún sin depósito; a medida que la temperatura disminuye, se produce el depósito que será variable en función de la viscosidad, de la concentración de sílice y de la velocidad de enfriamiento.

Estos autores llegaron a definir regionalmente las únicas zonas con posibilidad de existencia de amatistas en Uruguay, pero el modelo genético no fue lo suficientemente preciso como para orientar la prospección a escala de un yacimiento.

A este modelo genético, que tuvo muchos aciertos entre 1975 y 1982, se agregaron otras observaciones en los alrededores de la localidad de Curtinas en el Dpto. de Tacuarembó, que resultan de interés porque complementan el posible mecanismo de formación de las referidas masas silíceas desde un ángulo diferente (MONTAÑA y BOSSI, 1993).

Los referidos autores encontraron fenómenos de transformación de los granos cuarzosos de las areniscas en los minerales silíceos de las geodas tanto en las observaciones de campo como al microscopio. La reconstrucción paleogeográfica permitió reconocer que los procesos asociados a la formación de amatistas en geodas presentaban estrecha relación geométrica con escurrimientos de lenguas de lava en paleovalles interdunales.

En las vecindades de la localidad de Curtina en el Dpto. de Tacuarembó se desarrolla una extensa zona de contacto entre los basaltos de la fm Arapey y las areniscas eólicas de la fm Rivera (sensu FERRANDO y MONTAÑA, 1986). Estas areniscas contienen granos de 0,5

mm pulidos y redondeados, bien seleccionados, con estratificación cruzada y morfología de paleodunas alargadas en rumbo NS.

En la figura N° 9-5 se muestran gráficamente los rasgos geológicos más significativos. La colada inferior, en contacto directo con las areniscas muestra internamente 3 zonas subhorizontales netamente diferenciables:

- En la base, basalto de grano medio con escasas vacuolas silíceas de 1 a 3 cm de diámetro;
- En el centro, basalto masivo de grano medio, incluyendo bloques métricos de areniscas silicificadas de las que se desprenden geodas silíceas de calcedonia y cuarzo (a veces amatista) de 10 a 20 cm de diámetro;
- En el techo, basalto vesicular con 50 a 70 % de vesículas de 2 a 9 mm de diámetro, vacías o rellenas de ceolitas; encima de este nivel vesicular se encuentran fragmentos polimétricos de areniscas conservando la estructura eólica original.

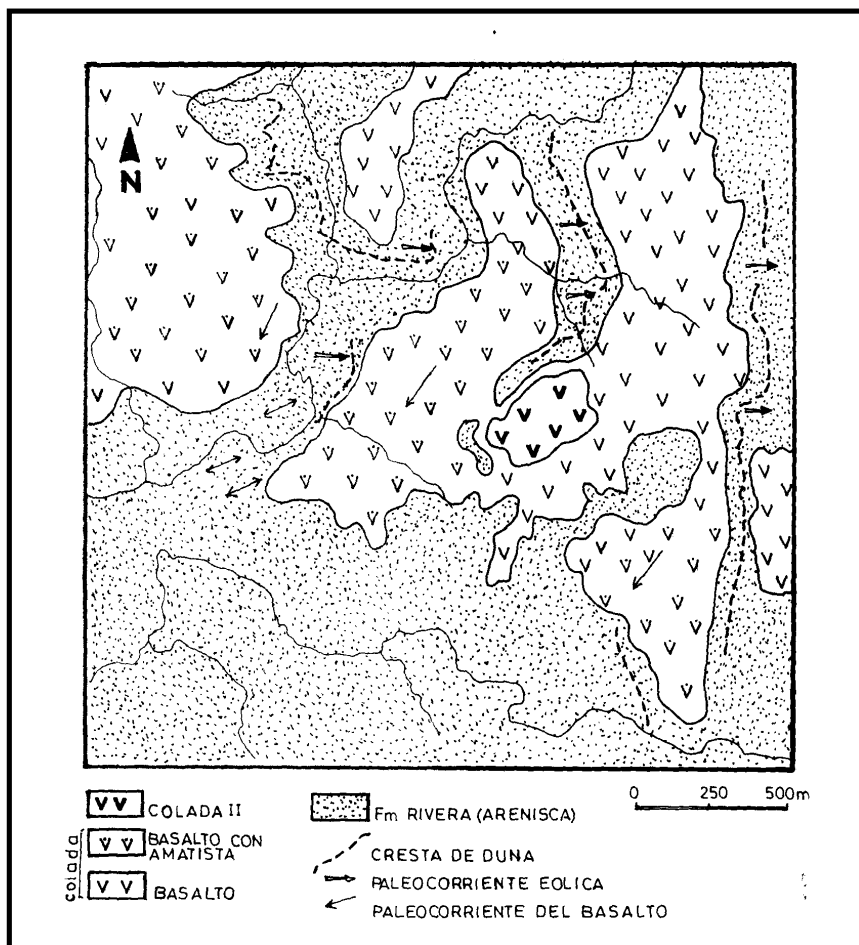


Figura N° 9-5. Carta geológica de los alrededores de Curtina.

En una descripción más detallada es necesario agregar la existencia de filones ascendentes de arenisca que atraviesan la colada basáltica de la base en dos generaciones: los filones de la primera generación están completamente transformados en ágata y deformados por el desplazamiento de la lava; los de segunda generación son verticales, de 4 cm de potencia y atraviesan todo el perfil de la colada, por lo que se formaron cuando se detiene el derrame y el enfriamiento genera fracturas.

En la figura N° 9-6 se muestran en esquema todos los fenómenos descritos y constituyen las observaciones fundamentales que soportan el modelo propuesto.

En la zona existen 3 coladas basálticas superpuestas, pero ni en la segunda ni en la tercera aparecen fenómenos de reacción entre areniscas y basaltos de la magnitud arriba señalada. El contacto entre la primera colada y la arenisca se produjo en un desierto en plena evolución, con dunas de diversa forma y tamaño, con desniveles medios de 20 metros que localmente generaron corredores interdunales, en los que se acumulan minerales densos y evaporitas. Esta primera colada se desplazó en un terreno fuertemente ondulado con orientación preferencial hacia el SW.

Las amatistas aparecen exclusivamente en la primera colada, en íntima relación con las areniscas englobadas, asociadas con cuarzo incoloro, ágata concéntrica y de bandeo horizontal, calcedonias de varios hábitos y fragmentos de areniscas fuertemente silicificadas.

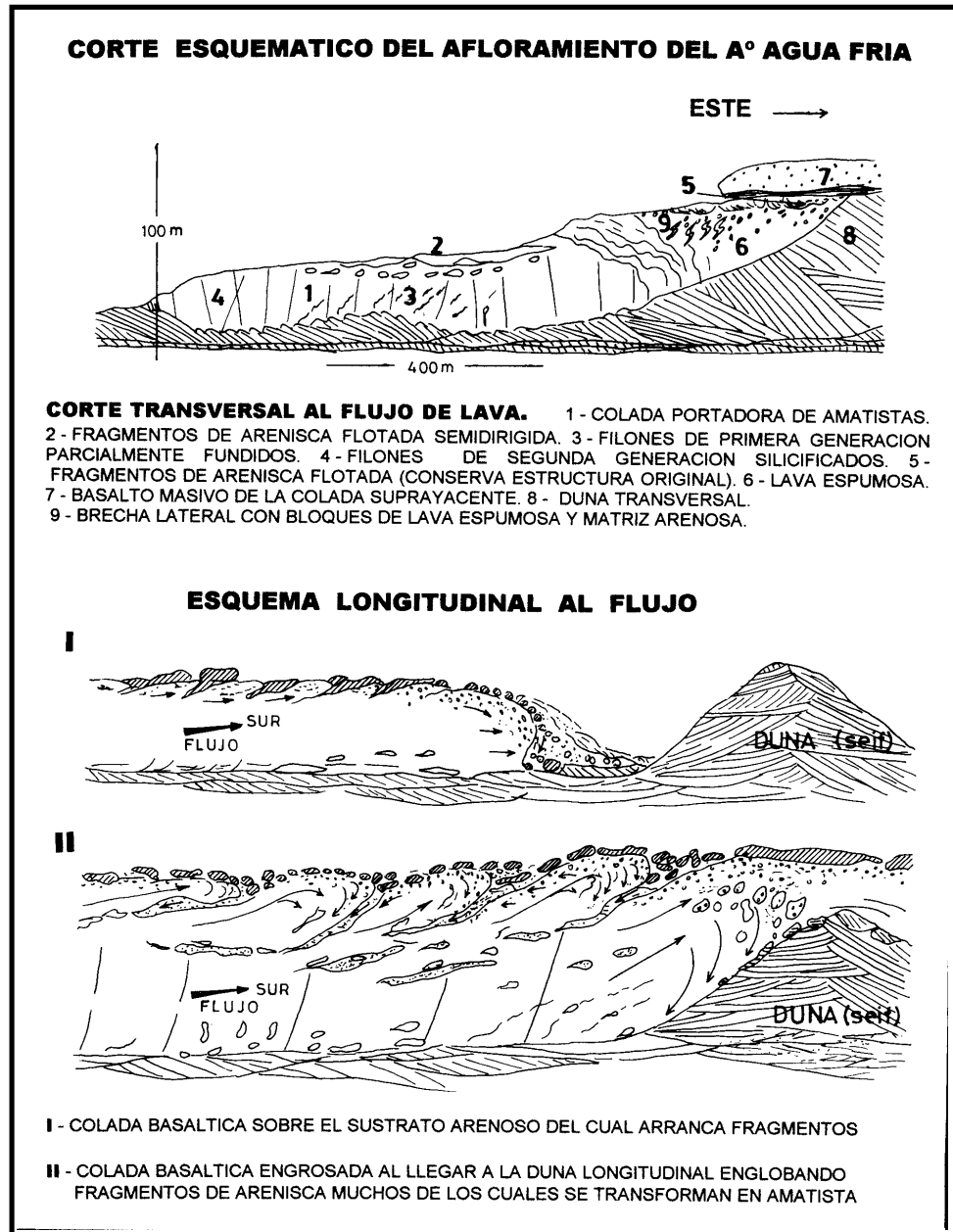


Figura N° 9-6. Cortes geológicos en el contacto arenisca-basalto.

La relación geométrica entre areniscas y geodas silíceas queda demostrada por muchísimas observaciones de geodas con fragmentos de areniscas en procesos de fusión

parcial, geodas en el interior de bloques de arenisca y vetas de ágata en niveles respetuosos de la estratificación cruzada original.

Las amatistas se asocian exclusivamente a filones de primera generación y a las masas de arenisca englobadas en la lava. Desarrollan cristales de 1 a 3 cm de arista en geodas ovoides irregulares o de morfología hidrodinámica.

La paragénesis de estas geodas es prácticamente constante: calcedonia fibroradiada en la periferia, siguen cristales de cuarzo de aristas milimétricas y las amatistas en la parte central con caras cristalinas perfectas por el hueco que siempre queda en el centro de la geoda.

Según los rasgos morfológicos del derrame de basalto, es una lava tipo pahoehoe *sensu* Mac DONALD (1967) y de estructura simple según la clasificación de WALKER (1972). Estas características indican baja viscosidad relativa (1000 paises) y una velocidad de efusión del orden de un millón de metros cúbicos por segundo. El volumen de ceolitas respecto al total de la lava es del orden del 1 % por lo que los líquidos tardíos no fueron importantes.

Los hechos que se describen a continuación fueron considerados los más significativos para definir la proveniencia del material silíceo:

- Granos de arena con borde desdibujado dentro de amatistas, calcedonias, ágatas y cuarzos incoloros
- Granos de magnetita, redondeados, incluidos en cuarzos incoloros y amatistas.
- Trozos de areniscas dentro de las geodas
- Geodas cuarzosas ovoides dentro de bloques de arenisca
- Los trozos de arenisca arrancados de los hoyos de deflación y de los flancos de las dunas donde se desarrollan ondulitas, son los que contienen mayor concentración de minerales densos.

En estas zonas interdunares es frecuente la presencia de magnetita y a la vez ha sido frecuente encontrar granos dentro de las amatistas. Estos granos de magnetita incluidos en amatistas presentan diferente grado de deterioro superficial, desde cristales perfectamente redondeados hasta filamentos irregulares al borde de la desintegración.

En la figura N°9-7 se pueden observar diferentes etapas de disolución de granos de magnetita dentro de cristales de amatista claros.

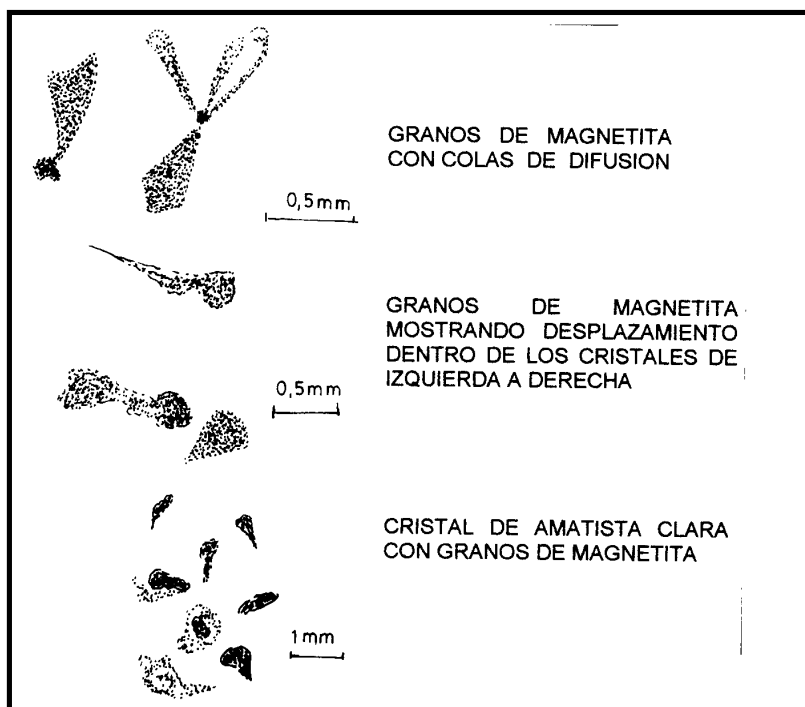


Figura N° 9-7. Grados de disolución de granos de magnetita en amatista.

Los cristales perfectamente redondeados son del mismo tamaño de los que se encuentran en las areniscas y se consideran englobados sin reaccionar con el huésped.

En estos casos, el cuarzo es sistemáticamente incoloro.

En las amatistas de color violeta claro, los cristales de magnetita están parcialmente destruidos y conservan todavía su morfología, aunque es frecuente que muestren colas hacia la base del cristal, como si se hubieran desplazado hacia la zona de caras cristalinas.

En las amatistas de color oscuro no se han encontrado más que filamentos negros, concentrados en las caras superiores de cada cristal.

Estas observaciones explican el color violeta por equilibrio Fe^{++} - Fe^{+++} como adelantaron BOSSI y CAGGIANO (1974) ya que la magnetita tiene ambos iones, y el hecho conocido de que siempre el color violeta se desarrolla en las puntas de los cristales y jamás en la base.

Otro factor que pudo determinarse es la necesidad de temperaturas muy altas del basalto para lograr las transformaciones. En esta zona pudo determinarse la ubicación del filón alimentador con rumbo N60W y se logró definir que no se forman amatistas a más de 8 Km de distancia del mismo.

De todas estas observaciones repetidas sistemáticamente en 6 zonas del área cartografiada, resulta razonable inferir que las amatistas en geodas de basalto pueden formarse solamente si se reúnen simultáneamente varias condiciones:

- Ingestión de arenas con magnetita por la lengua de lava de viscosidad relativamente baja (tipo pahoehoe) fluyendo en valles interdunales
- Alta temperatura de la lava, a pocos kilómetros de distancia de un filón alimentador.

Este enfoque desde un ángulo completamente diferente tiene asombrosa coincidencia con algunos planteos que BOSSI y CAGGIANO (1974) indican para la zona de Los Catalanes:

- Las geodas parecen ser de gran tamaño en las proximidades del centro eruptivo y disminuir hacia los bordes de las coladas
- A mayor detalle, las geodas silíceas parecen distribuirse en rosarios alargados en la dirección de escurrimiento de la lava; la determinación sistemática del espesor de estos rosarios será una valiosa ayuda para prospección de detalle y ubicación de yacimientos
- El tema también fue encarado por BORGET (1985) cuyo aporte más significativo es que el enriquecimiento en ($\delta^{18}O=20-30\%$) de los nódulos de ágata presenta valores comparables a los encontrados en un enclave de arenisca. Concluye que un proceso de contaminación de sedimentos areniscosos en una etapa precoz, no es una hipótesis a descartar. La estimación de P y T por inclusiones fluidas es infructuosa. Los únicos datos existentes pertenecen a BLANKENBURG (1982) e indican temperaturas próximas al punto crítico y presiones de 200 a 300 bars.

9- 4.GEOLOGIA ECONOMICA

En este capítulo se van a encarar los aspectos vinculados a las características de los yacimientos relativos a geometría de la mineralización, naturaleza de los minerales, tenores medios, área de distribución, volumen de producción y estimación de reservas probables.

De todos los parámetros citados existen antecedentes, aunque las versiones son disímiles y nuevamente se carece de información oficial.

Desde el punto de vista de la geometría de la mineralización poco se avanzó desde el relevamiento a escala 1/100.000 de toda la zona mineralizada publicado por BOSSI y CAGGIANO (1974). En la figura N° 9-8 se reproduce con mínimas modificaciones el hallazgo fundamental para el enfoque de la Geología Económica de ágatas y amatistas: son solamente dos las coladas portadoras que se dieron en llamar colada portadora principal y colada portadora secundaria.

En el Dpto. de Artigas existen varias coladas superpuestas yendo de la más antigua a la más joven desde el Este hacia el Oeste. Las coladas portadoras son la tercera y quinta de la estratigrafía actualizada (BOSSI et al, 1998).

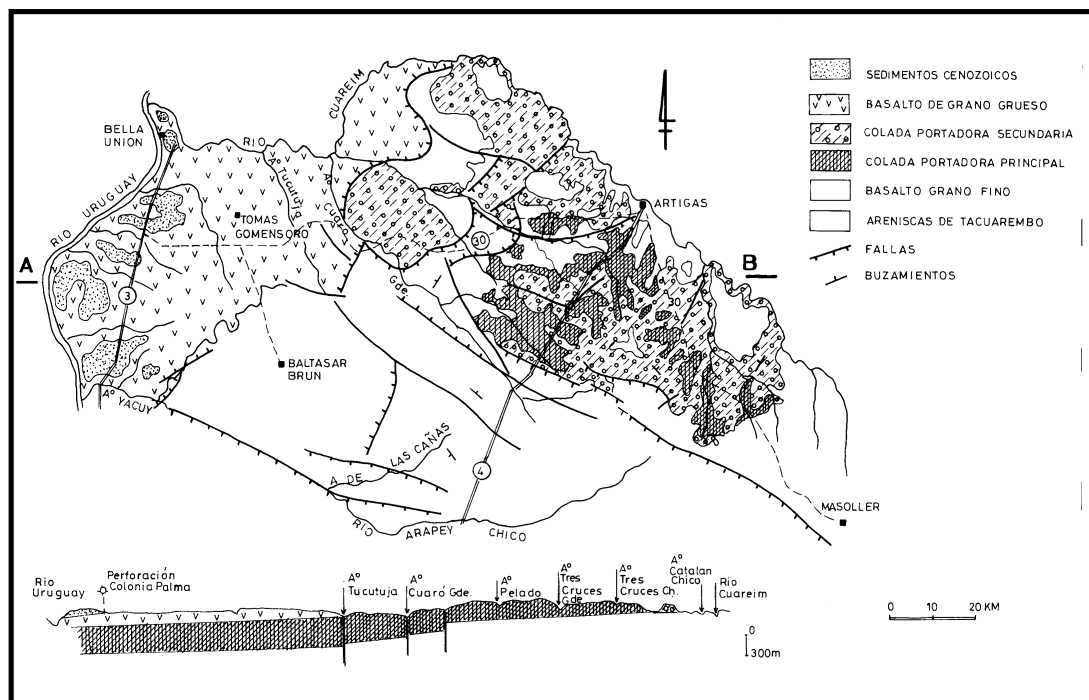


Figura N°9-8. Carta geológica según BOSSI y CAGGIANO.

9.4.1.LA NATURALEZA DE LA COLADA PORTADORA

La mayoría de los yacimientos explotados o en explotación se encuentran en una sola colada, la tercera de la secuencia volcánica del departamento de Artigas.

Esta colada presenta una extensión mínima de 3000 km² y su potencia media es estimada en 40 - 50 metros. El mejor perfil es mostrado en el sondeo IGU 585-2 donde presenta una potencia de 35 metros y los siguientes niveles estructurales, de la cima a la base:

- 4 metros de brecha ígnea que engloba bloques decimétricos de basalto vesicular relleno parcialmente de ceolitas y calcita; en este nivel de brecha se observan algunos filones de arenisca parcial o totalmente silicificada
- 6 metros de basalto de grano fino a medio con geodas de 10 a 15 cm de diámetro y paragénesis silícea: ágata, calcedonia, cuarzo incoloro, amatista
- 15 metros de basalto de grano fino predominantemente masivo con algunas geodas aisladas de relleno silíceo
- 10 metros de basalto masivo, localmente lajoso, de grano fino, equigranular a microporfírica plagioclaso-augítica. Desde el punto de vista mineralógico presenta plagioclasa más abundante que piroxeno y algo de cuarzo intersticial.

Se puede definir como un derrame tipo aa según descripción de Mac DONALD (1967), de estructura simple siguiendo la terminología de WALKER (1972).

Las características estructurales de esta colada fueron mejor precisadas por la observación de más de treinta afloramientos asociados a las zonas de yacimientos. Presenta siempre un nivel de brecha en la cima con una potencia entre 3 y 7 metros. Esta brecha está compuesta por bloques decimétricos de basalto vesicular cementados por basalto afaníptico y presenta frecuentes filones irregulares, contorneados, de arenisca más o menos silicificada.

Estos filones se producen por relleno descendente, ya que disminuyen de potencia hacia abajo, hasta desaparecer. Debajo del nivel de brecha se desarrolla un nivel geódico de potencia variable entre 5 y 15 metros que presenta casi exclusivamente minerales silíceos:

calcedonia, cuarzo incoloro, amatista. Accesoriamente pueden aparecer moldes de calcita temprana disuelta y excepcionales cristales de calcita tardía. En este nivel geódico aparecen algunos filones y algunas vacuolas rellenas de areniscas. Con referencia a los minerales silíceos es posible reconocer por lo menos tres tipos fundamentales de relleno:

- Geodas casi esféricas, con calcedonia bandeada depositada en los primeros centímetros de su periferia y rellenas luego casi totalmente con cristales de cuarzo incoloro
- Nódulos con morfología esferoide o fluido dinámica que están completamente rellenos por calcedonia bandeada, a veces con el centro hueco y desarrollo de pequeños cristales de cuarzo o amatista
- Geodas en general muy irregulares, rellenas sólo en un bajo porcentaje y que luego de un depósito de pocos centímetros de calcedonia, desarrollan cristales de amatista.

Las geodas de morfología fluido-dinámica sirvieron para medir el sentido del escurrimiento, que en el caso de la colada portadora principal es en general de W a E.

Estas geodas se forman hacia la solidificación total del magma basáltico y en ellas queda impresa la deformación producida por el escurrimiento de la lava, como una burbuja ascendente.(figura N°9-9).

Las geodas esferoides, con relleno casi total de cuarzo incoloro, se han formado en un estado todavía relativamente fluido tal cual se vio en la figura N° 9.4 de la lava y con una presión interna importante.

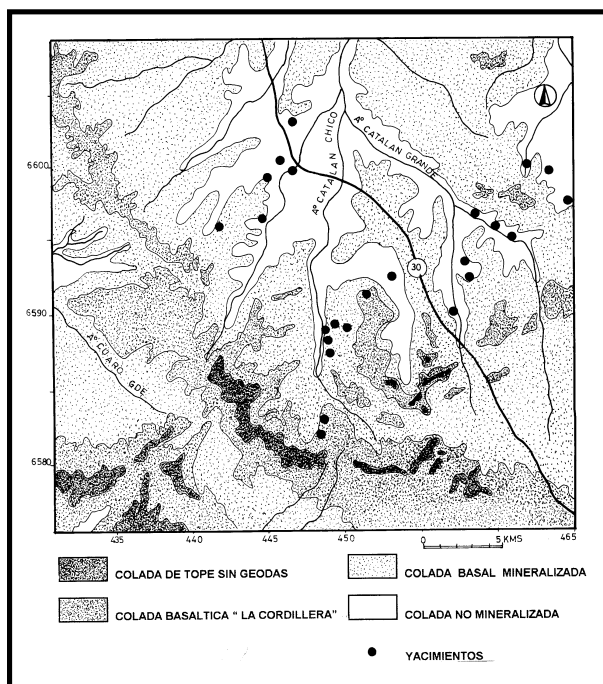


Figura N°9-9. Ubicación de yacimientos en los años 70.

Se puede suponer un estado intermedio de viscosidad y presión interna relativamente baja para las geodas irregulares con amatista que frecuentemente resultan de la yuxtaposición de varias formas esferoides.

A nivel regional, es posible reconocer que en el NW la colada presenta geodas de diámetro mucho mayor, frecuentemente de más de un metro de longitud, y los cristales de amatista también son de tamaño mucho más grande.

Observado en detalle es posible reconocer una cierta zonación de la densidad de las geodas y de su mineralogía en sentido perpendicular al del escurrimiento de la lava. En

primera aproximación parece posible definir la existencia de fajas paralelas en la dirección del escurrimiento, cada una de las cuales muestra densidad y mineralogía diferentes.

Según BOSSI y CAGGIANO (1974) este modelo no está definitivamente comprobado por falta de observaciones suficientes, pero es una línea de trabajo a desarrollar, ya que la comprobación de esta geometría de distribución sería clave para una prospección detallada y para el cálculo de volumen. Esto quedó demostrado por MONTAÑA y BOSSI (1993).

Considerando el conjunto de coladas integrantes de la formación Arapey en el departamento de Artigas, esta colada principal potadora de amatistas presenta algunas peculiaridades:

- Potencia de 35 a 60 m, lo que significa valores superiores al promedio
- Espesor considerable y constante del nivel de brecha de la cima
- Presencia de filones de arenisca en fracturas a nivel de brecha.
- Composición química de la lava con más de 56 % de SiO₂.

9.4.2. LA MINERALIZACION SILICEA

En la colada portadora principal se han efectuado centenares de excavaciones para exploración y explotación de geodas. Todas esas labores pueden agruparse en tres áreas principales.

1. Area Los Catalanes (Chico, Grande, Seco, Los Talas, Juan Fernández, Santinho), que se encuentran en el extremo SE de la colada mineralizada principal.
2. Area Artigas (Pintado Grande, Artigas, Guaviyú de Cuareim, parada Farinha), ubicada en el extremo Norte de la colada portadora
3. Area Tres Cruces-Cuaró (valles de los arroyos Tres Cruces Grande y Chico y Cuaró Grande y Chico) que explota la colada secundaria.

Cada una de estas zonas presenta mineralización silíceas con ciertos rasgos particulares más o menos constantes para cada una, lo que permite a su vez diferenciarlas entre sí.

Area Los Catalanes

Esta zona se caracteriza por su gran abundancia de geodas de tamaño medio (10-50 cm), con baja densidad de material lapidable pero con gran abundancia de formas exóticas y con extraordinario color violeta intenso. Estas formas exóticas pueden ser estalactíticas, estalagmíticas o pseudomórficas.

Los cristales de amatista son en general pequeños y en su mayoría no sobrepasan 1 cm de arista. Se presentan en dos hábitos dominantes: uno con gran desarrollo de los rombohedros, que muestran el mejor color violeta, y otro con desarrollo de prisma de gran pureza, pero con tonos muy claros, que pueden pasar a citrino oro por tratamiento térmico.

El color está distribuido en uno solo de los individuos maclados, a lo que se superpone frecuentemente una alternancia cromática según las distintas etapas de crecimiento.

Si bien pueden aparecer paragénesis intrageódicas muy variadas, hay cinco asociaciones netamente dominantes:

1. El depósito comienza por una delgada película de hidrosilicato férrico verde (delessita); es seguido por una capa milimétrica a policentimétrica de calcedonia mal definida, de colores rosados y/o verdosos y desarrollo de haces sageníticos; el depósito final es de

cristales de amatista de extremos libres, donde se concentra el mejor color, y que no rellenan totalmente la cavidad.

2. Otra paragénesis muy frecuente comienza también por un depósito de hidrosilicato verde, seguido en cambio por calcedonia bandeada bien definida, de color gris o blanco; la secuencia culmina con una masa de cristales de cuarzo incoloro que normalmente rellenan toda la cavidad.
3. Un tercer tipo de asociación presenta moldes huecos de calcita, que ha sido depositada en los primeros momentos de la evolución, seguido por su disolución, y luego la secuencia de una de las dos paragénesis arriba citadas. Algunas geodas excepcionales presentan también calcita como último mineral depositado.
4. Nódulos de ágata en bandas concéntricas de colores grises y blanco, a veces con un pequeño hueco central revestido de pequeños cristales de cuarzo.
5. Nódulos de calcedonia sin bandeo aparente, de color gris oscuro, que pueden también presentar hueco central tapizado de cristales de cuarzo.

Como un fenómeno peculiar de esta zona, algunas geodas de amatista o cuarzo incoloro presentan como depósito final una delgadísima película de calcedonia u ópalo que hacen perder valor comercial, pues enmascaran el brillo y color de los cristales. Se cree que esta película es actual e independiente de la paragénesis original.

Area Artigas

Esta zona se caracteriza por la existencia de escasas pero grandes geodas de tamaño superior a un metro y peso entre 100 y 500 Kg. La corteza es sumamente espesa (10 cm de promedio) y las aristas de los cristales pueden alcanzar hasta 10 centímetros.

De aquí se extrae la casi totalidad de piedras lapidables superiores a 10 quilates y no son raros los cristales que permiten el tallado de piedras de hasta 100 kilates.

Del total de cristales con valor comercial puede estimarse una extracción del orden del 10 % de amatistas de color violeta oscuro y del 90 % de amatistas de color pálido, aptas no obstante para tratamiento térmico que brinda citrinos de colores excelentes tipo Río Grande, Palmeira, etc.

En una primera aproximación semicuantitativa, por cada geoda de amatista de color violeta profundo se encuentran ocho geodas de piedra de quema y unas veinte geodas de cuarzo incoloro.

Los cristales nunca presentan desarrollo del prisma; la coloración es más homogénea que los de la zona de Catalán y contienen frecuentes inclusiones de piritita automorfa.

La paragénesis de esta zona es similar a la del área Los Catalanes, pero aparecen algunas diferencias cuantitativas:

- Muy pocos nódulos de calcedonia masiva;
- Los nódulos de ágata presentan muy buenos diseños;
- Ausencia de formas estalactíticas o estalagmíticas así como de moldes o pseudomorfosis de calcita.

Area Tres Cruces- Cuaró

Aquí aparecen también grandes geodas espaciadas en las que pueden encontrarse enormes cristales de profundo color violeta.

No obstante ello, la intensidad de explotación ha sido mucho menos importante que en las dos áreas anteriores y no es posible estimar frecuencias de aparición de las distintas especies y variedades.

Desde el punto de vista cualitativo, esta zona presenta ciertas peculiaridades. Se encuentran pseudomorfosis de un mineral tabular (baritina) y relativa abundancia de enhidros. También es frecuente la aparición, en los cursos de agua, de grandes nódulos de ágata de hermoso diseño, principalmente en las nacientes del arroyo Cuaró.

9.5 EL TIPO DE YACIMIENTO

En Geología Económica tiene gran importancia la descripción objetiva de cada yacimiento y su agrupamiento en tipos para la prospección y cubicación de determinado mineral de valor económico.

Para la definición del tipo de yacimiento se han seguido los criterios planteados por BLONDEL (1955), ROUTHIER (1958) y BERNARD (1968), pero adaptados a este tipo de depósito. Con ello es posible racionalizar las observaciones geológicas y exponerlas en forma objetiva de modo que sirva como ficha de un yacimiento de tipo relleno de geodas en basalto. Sucesivas fichas similares permitirán reunir datos que, expuestos ordenadamente, podrán a la postre definir guías de prospección y ubicación.

Esta ficha contiene los rubros que, de acuerdo con la experiencia, son los que deben retenerse como más significativos, capaces de contribuir a descifrar la génesis de la amatista, y a partir de ello orientar la prospección.

Los rubros a retener para la descripción de un yacimiento de amatistas, con miras a su utilización para prospección y cubicado, son los siguientes:

- Paragénesis y secuencia de depósito
- Cantidad de amatista obtenible por metro cúbico de basalto (tenor)
- Tonelaje contenido a nivel de una colada
- Geometría y distribución de la mineralización, en lo posible en función de la dirección de escurrimiento de la lava
- Naturaleza litológica y datos estructurales de la colada portadora
- Estructura geológica regional y fundamentalmente, relación entre lavas y sedimentos
- Edad de los derrames y de la mineralización

Los yacimientos de amatista de la colada portadora principal del departamento de Artigas, en Uruguay, presentan las características que se exponen a continuación, siguiendo el orden de descripción arriba fijado.

Paragénesis

Las amatistas se encuentran como relleno final de geodas en las que la secuencia más frecuente ha sido: hidrosilicatos férricos; calcedonia imperfectamente desarrollada, jaspoide; calcita; nuevo depósito de calcedonia simultáneo con la disolución de la calcita; amatista excepcionalmente, depósito final de calcita.

Estas geodas con amatista se asocian a otras vecinas rellenas de ágata y cuarzo incoloro y a nódulos de ágata y/o calcedonia.

Tenor

Pocos yacimientos han brindado la oportunidad de evaluar la cantidad de amatista extraída por metro cúbico de basalto removido. Dos yacimientos en el área de Los Catalanes permiten estimar valores que oscilan entre 2 y 5 Kg de amatista con valor comercial por

metro cúbico de basalto. La distribución no es homogénea; en paneles de aproximadamente 1.000 m³ de basalto removido pueden verificarse variaciones entre los 700 y los 7000 Kg de amatista.

Tonelaje

En este tipo de yacimiento los tonelajes de reservas son enormes. En los casos conocidos existen siempre reservas de más de 2.000 toneladas de amatista de alta calidad comercial en cada 30 has de explotación.

Según STARNI et al (1990) las reservas de amatistas serían del orden de 1 millón de toneladas.

GEOMETRÍA DE LA MINERALIZACIÓN

La zona mineralizada en amatistas determina una capa subhorizontal limitada por superficies groseramente planas y paralelas que pueden presentar espesores variables entre 5 y 15 metros.

Este nivel contiene amatistas en geodas de forma irregular que resulta de varios esferoides adosados y cuyo tamaño varía en función de la ubicación en la extensión de la colada. En el W, las geodas son enormes, muy separadas entre sí y con grandes cristales de color violeta intenso.

En el NE, las geodas son también de gran tamaño y con grandes cristales, pero predominan las amatistas de color pálido, aunque excelentes para tratamientos térmicos. En el SE las geodas son más bien pequeñas o medianas (10 - 50 cm de diámetro), con cristales pequeños y predominio del color violeta intenso.

A nivel de un yacimiento, parece que las geodas se distribuyen en rosarios siguiendo la dirección de escurrimiento de la lava. Rosarios paralelos presentan densidad de mineralización y paragénesis aparentemente diferentes.

GEOLOGÍA DE LA COLADA PORTADORA

La colada portadora principal, presenta una extensión superficial de aproximadamente 3.000 km² con una potencia media de 40-50 metros y ha escurrido de W a E. Presenta tres niveles estructurales: en la cima, brecha ígnea con filones de arenisca, que alcanza espesores de 3 a 7 metros, sigue luego un nivel geódico de espesor variable entre 5 y 15 metros que es donde se encuentran las amatistas explotables; en la base, el basalto es masivo, de grano medio a fino, de naturaleza toleítica y con cuarzo intersticial.

La colada es de tipo aa simple, y significa según WALKER (1972) una elevada velocidad de extrusión del orden de 100 a 10.000 m³/seg y una viscosidad intermedia del orden de un millón de poises.

ESTRUCTURA GEOLÓGICA REGIONAL

La colada portadora de amatistas, forma parte de una sucesión de coladas basálticas entre las que se depositan sábanas y barcanes de arenas eólicas, hoy intensamente silicificadas. La actividad eólica ha sido muy intensa entre derrames y simultánea a la efusión de los

mismos. En particular en el departamento de Artigas es reconocible la siguiente sucesión en la zona de yacimientos de amatistas, de la cima a la base:

- Derrame de basalto de unos 50 m de potencia, de tipo pahoehoe, sin nivel geódico reconocido
- Derrame de basalto de unos 40 m de potencia, de tipo variable pero predominantemente pahoehoe, con nivel geódico desarrollado aparentemente en forma irregular y con relleno silíceo incluso con amatista.
- Derrame de basalto de 40-50 m de potencia, de tipo aa con arenisca en filones dentro del nivel superior de brecha y con un extraordinario desarrollo de nivel geódico normalmente rico en amatista
- Arenisca en barcanes con un desarrollo regional homogéneo, observable en todos los perfiles estudiados. Alanza espesores superiores a 6 metros
- Colada basáltica de unos 10 m de potencia medio de tipo pahoehoe pero con filones de arenisca en el nivel vesicular superior
- Colada basáltica de potencia no medida, de grano grueso y tipo “pahoehoe”
- Areniscas eólicas de la cima de la formación Rivera.

En el área en que aparece amatista del departamento de Artigas existe una íntima estratificación basalto-arenisca eólica y sobre todo frecuentes filones de arenisca en el tope de la colada que indican voladura de arena durante las efusiones. Estas conclusiones coinciden sorprendentemente con las extraídas para el área de Curtina por MONTAÑA y BOSSI (1993).

EDAD DE LA MINERALIZACIÓN

Estas coladas pertenecen a la formación Arapey, cuya edad oscila entre 120 y 130 m.a. según determinaciones de UMPIERRE (1965). Se han derramado pues entre el tope del Jurásico y la base del Cretáceo.

En cuanto a la mineralización, ella se ha producido muy poco tiempo después de la solidificación de la lava. Muchos argumentos pueden citarse en este sentido. El más evidente es la estructura de expulsión de fluidos de las ágatas fortificadas. Otro argumento de peso es el hecho de que aparezcan geodas fracturadas y desplazadas al ser atravesadas por un filón de arenisca cuyo momento de inyección es, a lo sumo, contemporáneo de la colada inmediata superior.

CONCLUSIONES

La estructura de detalle de la relación entre las coladas portadoras fue cartografiada por BOSSI y CAGGIANO (1974) en un documento interno para el programa basalto del Plan Agropecuario (sectores V y XI). En la figura N° 9-9 se expone una porción representativa de las zonas más intensamente mineralizadas y explotadas durante la década de los años 70, que fue denominada en la jerga minera, la zona de La Bolsa por el nombre de una población donde habitaban los que se dedicaban a la búsqueda y extracción de amatista, en condiciones no regidas por el actual Código de Minería, a la sazón, no existente.

Una de las excursiones del II Congreso Uruguayo de Geología fue preparada para visitar yacimientos de amatista en el área de Los Catalanes. Entre los documentos presentados, figura una carta geológica aproximada a escala 1/200.000 aunque la escala gráfica indicada esté equivocada (parecería a escala 1/440.000). Fuera de ese problema el documento modificado de PRECIOZZI y STARNI (1990) tiene una distribución actualizada muy valiosa de las principales explotaciones de ágatas y amatistas en el área de Los Catalanes, incluyendo las dos zonas de explotación en galería: Jaquetti y Sityá. En la figura N° 9-9 se reproduce - con las modificaciones de escala y de contactos geológicos necesarios- el documento referido que aporta también datos sobre los aspectos geológico-económicos de estos minerales ornamentales en los años 1995/1998.

La producción de ágatas y amatistas es presentada en el período 1977/1995 y en la figura N° 9-10 se reproducen los valores allí publicados.

Las variaciones anuales de producción son explicadas en el referido documento por problemas internos y externos de crisis y bonanzas económicas, lo que es en parte razonable, por tratarse de materiales suntuarios, pero existen también problemas de falta de fomento a una producción estable evitando trabas burocráticas y haciendo esfuerzos para explicar a los superficiarios de la zona que todo el departamento de Artigas y todo el país sale beneficiado si se tuvieran fuentes de trabajo estable, empresas rentables y gran actividad turística en la región.

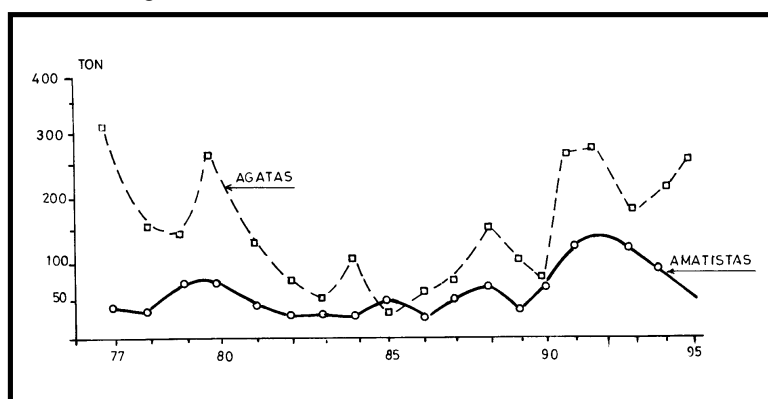


Figura N°9-10. Producción de agata y amatistas en el período 1977-1995.

Ya la producción agropecuaria extensiva dejó de ser fuente de ingreso fundamental y es necesario la contribución patriótica de los propietarios de la zona para lograr un desarrollo integral, con la contribución aunada de todos los recursos disponibles.

Sería necesario llegar a una producción sistemática, facilitando trámites de explotación en todas las etapas y formando grupos estables de investigación. Los esfuerzos de la reciente década se canalizaron exclusivamente a través de convenios con grupos europeos sin quedar personal uruguayo suficientemente formado, porque toda esa actividad se ha centrado nada más que en una recolección de datos.

Aunque el estudio de mercado realizado en Europa Occidental en 1990, individualizó una fuerte demanda, las cifras máximas de exportación no sobrepasaron U\$S 800.000 en 1992 y cayeron fuertemente desde entonces.

Los principales problemas detectados por la empresa consultora en 1990 estaban centrados en el alto costo de producción debido...."a las carencia de maquinaria y arte de explotación."

El informe también señala que los picos lapidables alcanzan valores de U\$S 300 a U\$S 3500 según calidad y tamaño y que las gemas lapidadas valen entre U\$S 5 y U\$S 15 por quilate.

El costo de producción depende del tipo de proceso de extracción; cielo abierto o galería. Sin embargo la explotación en galería permite recuperar prácticamente la totalidad del material útil. Por otro lado, la extracción a cielo abierto sólo es rentable cuando las geodas se encuentran en basalto meteorizado, fácilmente excavable con retroexcavadora y estos yacimientos están prácticamente agotados.

Ya existen dos empresas que están explotando en galería según indica Da SILVA (1998) en la Guía de Excursión del II Congreso Uruguayo de Geología. Este autor muestra en la figura N° 9-11 un corte ideal del área de Los Catalanes y en la figura N° 9-12 un esquema de minas en galería en la zona de La Cordillera en Catalán Chico.

Es significativo que el referido autor, describiendo los perfiles de basalto indique textualmente.."los contactos entre coladas son bastante simples, mientras que los contactos de subunidades dentro de la colada son bastante irregulares. El nivel mineralizado con frecuencia se estrangula, creando confusión en la aparición de ágatas y amatistas. Esta

modalidad de ocurrencia del nivel mineralizado da la apariencia de un caos y es motivo para que el minero abandone el frente de explotación y abra otro veinte o treinta metros más lejos”..

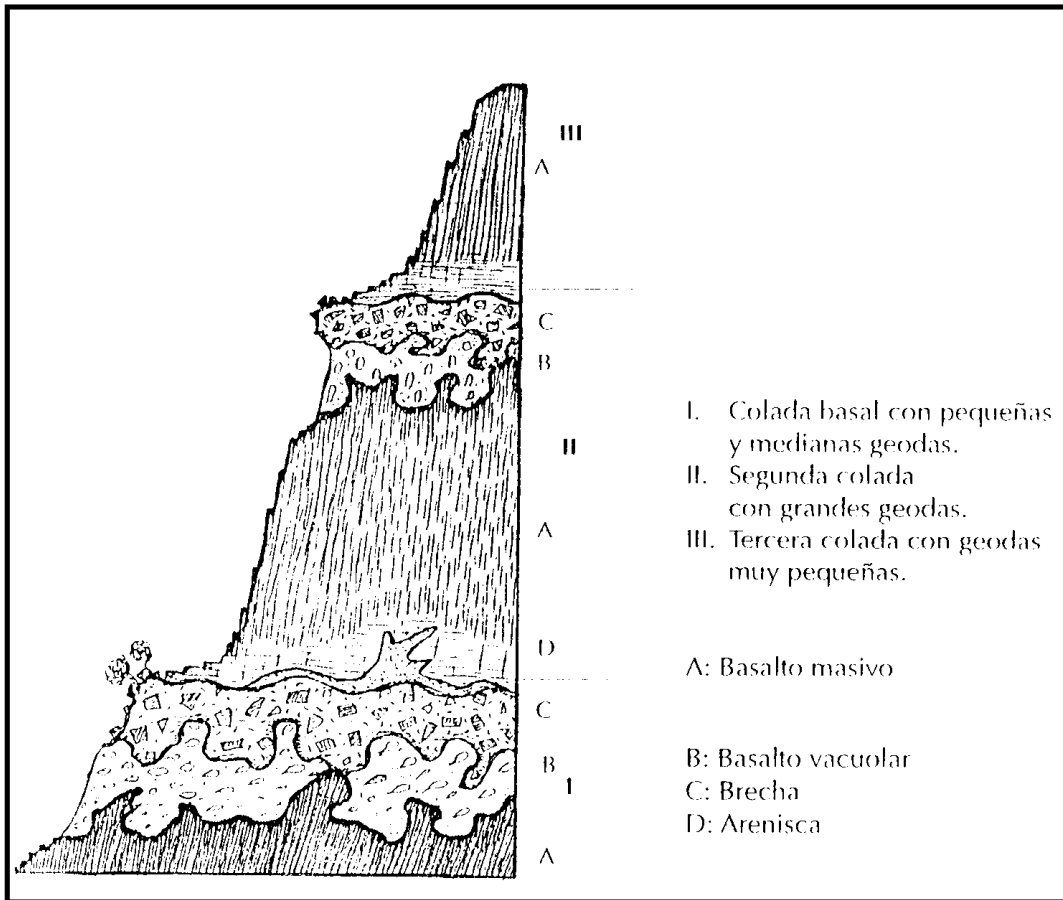


Figura N° 9-11. Corte geológico en la zona de Los Catalanes



Figura N°9-12. Esquema de explotaciones en galerías.

La mina del Sr Jaquetti es la más importante explotación de amatistas en galería en Uruguay con excavaciones de hasta 120 m de longitud. Extrae las geodas más grandes y perfectas con dimensiones de hasta 60 cm de diámetro.

También el área de Los Catalanes ha sido recientemente electrificada dando posibilidades de reducción de costos de extracción, instalación de talleres de beneficiación en la zona y mejor calidad de vida, atrayendo posibles futuros operarios.

Todas las condiciones básicas están dadas para lograr una actividad extractiva rentable en esta zona del país: empresas dispuestas a invertir, operarios capacitados, corriente eléctrica. El tema de la concreción de un pequeño polo de desarrollo pasa exclusivamente ahora, por la reducción de los costos de producción y ese descenso solamente va a lograrse cuando se sepa exactamente la distribución de geodas aprovechables (amatista, cristal de quema, ágata teñida y ágata masa) antes de comenzar la explotación.

En todos los casos de extracción de minerales con bajo porcentaje en la roca que los contiene el costo de extracción es generado por el arranque y retiro de escombros de los materiales estériles. De esta comprobación, resulta evidente que la rentabilidad de producción de amatista y ágata depende de poder determinar con bajo margen de error, la distribución geométrica de las geodas en la colada a explotar.

Dicho en otros términos, el costo de producción depende del mayor o menor conocimiento que se tenga del proceso genético de las amatistas y de las geodas de ágata.

Actualmente se dispone de mucha información naturalista, la que permite asegurar la necesidad de existencia de ciertas condiciones para que se formen geodas de gran volumen:

- Digestión de bloques de arenisca por la colada basáltica de viscosidad no demasiado elevada (aa o pahoehoe)
- Alta temperatura del basalto, ubicado a no más de 8 Km del filón alimentador
- Escurrimiento de las lenguas de lava por valles interdunares donde se acumulan los minerales densos, entre ellos la magnetita, capaz de generar el color violeta por disolución y resonancia entre iones Fe^{++} y Fe^{+++} en el cuarzo recristalizado.

- Distribución geométrica a escala del yacimiento, en rosarios de 20 a 30 metros de ancho en el rumbo del escurrimiento de la lava, separados entre sí a distancias variables hasta donde existe información.

A partir de la información disponible, es relativamente fácil poder acceder a un modelo regional utilizable si existe contribución de las empresas para el desarrollo de un programa integral.

La zona de producción está en el Dpto. de Artigas, principalmente. Sin embargo en Curtina (Dpto. de Tacuarembó) se encontraron los criterios más cercanos a la explicación de todos los fenómenos conocidos.

El paso necesario es relativamente simple y fácil de programar: demostrar que en el área de Los Catalanes se cumplen o no los controles genéticos descubiertos en Curtina y si se cumplen de qué forma se manifiestan.

Parece muy importante encontrar la exacta distribución geométrica de las geodas de amatista y de ágata porque ese sería el factor que definitivamente reducirá los costos de extracción y haría competitiva la comercialización mundial de nuestros minerales.

Los autores coinciden en que las reservas son muy importantes desde que se puedan extraer en basalto tenaz, lo que aumenta los costos, pero produce material de mayor calidad.

La existencia de dos coladas con características diferentes puede producir además minerales de diferentes propiedades grandes cristales de amatista poco coloreada en la (colada superior: secundaria); pequeños cristales de amatista bien oscura con formas curiosas y abundantes geodas de ágata en la colada inferior (portadora principal).

Los trabajos de galería de la zona de La Bolsa pueden ser el factor decisivo de transformación de esta industria extractiva si se consiguen encontrar los modelos correctos de distribución de las geodas para minimizar el costo de extracción.

También surge claramente de las cifras de comercialización, que es necesario: tallar las amatistas lapidables; quemar y tallar los citrinos resultantes de las grandes amatistas claras; cortar, teñir y pulir las ágatas bandeadas; elaborar piezas de uso directo con las ágatas masivas grises; terminar cuidadosamente las geodas ornamentales con cortes adecuados y planos de apoyo cubiertos de tela o materiales blandos.

La extracción de geodas en galería asegura una calidad excepcional de los materiales resultantes y eso podrá ser aprovechado con grandes ventajas comparativas para materiales de uso suntuario.

La lapidación de amatistas exige una tecnología delicada, pero sobretodo capacidad artesanal para la terminación. De modo que es accesible desde que las empresas deseen realizarlo. Existen lapidadores uruguayos formados en cursos de los primeros años de la década (1990 - 1992) y también se puede acudir a especialistas del Sur de Brasil.

La quema de los cristales de amatista con poco color, las transforma en citrino de colores variables entre amarillo (falso topacio) y naranja fuerte (sangre de buey; en rigor *sangue do boi*) Los cristales deben ser sometidos a temperaturas del orden de 450-500 °C hundidos en una capa de arena para que la temperatura sea homogénea y el calentamiento gradual. El gran cuidado a tener en esta técnica es que no se puede pasar de 510 - 520 °C porque a 573 °C el cuarzo se transforma de la variedad alfa a la variedad beta y eso genera modificaciones tan importantes en la estructura iónica, que resquebraja e inutiliza el cristal para fines ornamentales.

Las ágatas deben ser cortadas en rodajas, teñidas y pulidas para comercializarse como ceniceros, posa- vasos, soportes de libros, etc. La técnica de teñido es compleja. Debe asegurarse antes que nada que la chapa de ágata tiene algunos niveles capaces de absorber soluciones de iones que luego se transforman en productos insolubles de colores vivos no afectados por el sol ni por el agua.

Clásicamente las ágatas se tiñen de azul, rojo y negro. Sin embargo también pueden teñirse de colores verde, rosado y celeste así como varias tonalidades de rojo incluyendo tonos naranja. El proceso de teñido consiste fundamentalmente en producir una reacción química que genere un producto de color intenso e insoluble en el interior de los microporos existentes en algunas capas o bandas de las ágatas

La tinción de ágatas bandeadas en colores que resistan el paso del tiempo, resulta ser un proceso esencial para su comercialización. Las ágatas naturales son de colores grises y no resaltan los diseños que representan una de las cualidades fundamentales para su uso ornamental.

El teñido le agrega valor a la piedra natural sin que genere rechazo por el proceso químico a la que estuvo sometida. Inclusive tiene más valor un ágata bien teñida que la piedra pulida en iguales condiciones sin el estímulo de la policromía.

Vistas estas consideraciones se entendió que podría ser un aporte de cierta significación el trascirbir aquí la larga experiencia que en este tema poseen los autores del ensayo. Básicamente se pudieron obtener: cualquier tono de color rojo; variedades de colores oscuros entre marrón y negro; amarillos, azules del color previamente deseado; verde de varios tonos.

Para ordenar la descripción de estos temas, se seguirá una secuencia similar a la del propio proceso industrial:

- ensayos de control de materia prima
- corte de rodajas
- limpieza de las superficies
- proceso de teñido.

La selección de la materia prima es un aspecto fundamental porque las ágatas deben contener niveles permeables y microporosos como para poder almacenar las moléculas de los productos químicos que van a generar los colores. Puede variar según el objetivo del producto final para lo que se va a utilizar la chapa de ágata pulida una vez teñida.

La muestra representativa del material depende del volumen a producir, del tamaño de las piezas, de la exigencia de homogeneidad del color y de la procedencia de las ágatas.

Respecto del tema del corte de las rodajas, es de interés señalar algunas cifras del producto resultante. Se reproduce un ensayo de corte de rodajas solamente en la periferia de geodas de 30 a 40 cm de diámetro mayor.

Este ensayo trabajó durante 200 horas, cortando 800 Kg de piedra en 220 cortes fundamentales. De allí resultaron 150 cortes útiles con un tiempo medio de 50 minutos por corte.. Esto conduce a que se cortan alrededor de 5 Kg de piedra bruta por hora; para máquinas estándar, el rendimiento es de un kilo por hora por máquina.

Una vez cortadas, las rodajas quedan impregnadas de aceites minerales por lo que es necesario extraerlo de los microporos de las bandas a teñir, con soluciones de detergente. Esta etapa es clave en el proceso y no incide en la economía la mayor o menor demora que a ello se destine, aunque requiere un mínimo de 2 horas. Resulta fundamental realizar ensayos sobre este proceso de limpieza cada vez que se cambie de materia prima o cada vez que se cambie de lubricante de corte.

Luego de la limpieza es necesario realizar un secado de las piezas con la finalidad de eliminar totalmente el agua contenida en los microporos de la piedra para facilitar el ingreso de las soluciones de teñido. Como esto es un proceso de calentamiento, debe ajustarse una curva de velocidad para evitar fracturas de las piezas en el mínimo tiempo. Para la descripción del teñido se analizará cada color por separado.

Rojo

Las rodajas limpias se sumergen en un baño de nitrato férrico (preparado con el agregado de clavos de acero en ácido nítrico). El tiempo mínimo de inmersión es de 3 semanas (viente días).

Al retirar las rodajas, se deben enjuagar y dejar escurrir durante media hora para luego volver a secarlas, eliminando el agua y el NO_2 y quedando el óxido de hierro impregnando los microporos.

De acuerdo al color final deseado - desde rojo oscuro a amarillo se calentará a mayor o menor temperatura durante un tiempo más o menos prolongado. Los colores amarillos se generan por óxidos férricos hidratados y no deben ser logrados calentando hasta 300°C .

Tanto el proceso de secado previo al teñido como la deshidratación posterior a la coloración, pueden ser realizados en hornos continuos si el volumen de producción de un mismo tipo de color es suficientemente elevado. Estos hornos continuos generan un ahorro considerable en el consumo de energía.

Teñido de negro La técnica de teñido de negro es la clásica técnica de DREHER que embebe las rodajas con solución saturada de azúcar (400 gr/litro) a temperatura entre 40 y 60°C durante un tiempo variable según el espesor.

Luego de ese tiempo las rodajas se enjuagan, se secan y se sumergen en ácido sulfúrico concentrado. Según el tiempo de tratamiento ácido se obtienen colores marrones habano o negros y teniendo en consideración el tiempo de inmersión.

Teñido de azul

las rodajas que presentan colores amarillos o pardos, deben ser descartadas; lo que no influye para los colores rojos a naranjas o marrones a negros, ahora resulta un inconveniente insalvable.

Hay dos posibilidades de teñir de azul con resultados hasta el momento equivalentes:

- a) precipitar el azul de Prusia
- b) precipitar el azul de Turnbull (ferricianuro ferroso).

Decenas de ensayos de laboratorio y tratamientos a escala de pequeña industria dieron resultados que se pueden considerar similares.

La técnica consiste en sumergir las rodajas preparadas en una solución del complejo a usar: ferrocianuro o ferricianuro indistintamente.

Luego se enjuagan y se pasan a la solución del revelador, que es variable según el complejo utilizado en la primera etapa.

Si se utilizó ferrocianuro de potasio, el revelador debe ser una sal férrica, que normalmente es una solución de cloruro férrico al 50 % en peso.

Si se utilizó ferricianuro de amonio. El revelador es sulfato ferroso en una solución al 10 % en peso.

Acá merece recalcar que estos complejos cianurados deben manipularse con adecuado grado de seguridad, pero que no tienen per-se el carácter mortal del cianuro porque este ión forma parte de un complejo que modifica sus propiedades.

Teñido de verde

El color verde brillante se obtiene solamente de ágatas bandeadas de tonos claros. Además debe señalarse que es un color muy sensible a las interferencias de cualquier otro color ya existente en la materia prima. Esto es tan significativo que a la limpieza normal debe agregarse una ebullición en ácido nítrico concentrado y varios enjuagues posteriores para teñir de verde y conseguir colores atractivos. De lo contrario quedan colores apagados y oscuros.

Se dispone de tres técnicas operables:

- a) sumergir las rodajas en solución de bicromato de amonio al 30 % por lo menos durante 4 semanas, enjuagar y calentar a 235°C , durante 2 a 3 horas; se cristaliza CrO_3 en los microporos.

- b) similar procedimiento pero sumergiendo en ácido crómico (CrO_4H_2) al 60 % en peso, enjuagando y pasando a una solución de carbonato de amonio (CO_3HNNH_4) neutralizante, antes de calentar.
- c) Inmersión en Sulfato de níquel por 4 semanas, u luego enjuagando con agua y secando las rodajas a menos de 100°C .