



MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y MINERIA

DIRECCION NACIONAL DE MINERIA Y GEOLOGIA

DIVISION GEOLOGIA

Montevideo, Setiembre de 2007

PROYECTO AGATAS Y AMATISTAS

Fase I :

CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y RELEVAMIENTO MINERO EN EL DISTRITO GEMOLOGICO LOS CATALANES

Autores

**Javier Techera
Judith Loureiro
Jorge Spoturno**

Setiembre de 2007

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Aspectos Generales	1
1.2	Zona de Estudio	3
2	OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	5
2.1	Objetivos	5
2.2	Metodología	8
3	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	12
3.1	Grandes Provincias Igneas	12
3.2	Provincia Basáltica de Paraná	14
3.3	Formación Arapey	17
3.4	Elementos y zonificación intraderrame	22
4	PROVINCIA GEMOLÓGICA ARTIGAS-RIO GRANDE DO SUL	28
4.1	Generalidades	28
4.2	Distrito Salto do Jacuí	29
4.3	Distrito Alto Uruguai	32
4.4	Distrito Gemológico Los Catalanes	43
5	ASPECTOS MINERALOGICOS DE LAS AGATAS Y AMATISTAS	45
5.1	Minerales del Grupo de la Sílice	45
5.2	Agatas y amatistas en yacimientos de Alto Uruguai y Artigas	55
6	GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DEL DGLC	68
6.1	Antecedentes geológicos del distrito	68
6.2	Aspectos generales	71
6.3	Geología descriptiva	77
7	YACIMIENTOS Y MINERALIZACIÓN DEL DGLC	96
7.1	Características básicas de los yacimientos	96
7.2	Asociaciones mineralógicas	104
7.3	Modelos genéticos	107
7.4	Modelo descriptivo y carta minero-exploratorio	117
8	ACTIVIDAD MINERA EXTRACTIVA EN EL DGLC	121
8.1	Metodología	121
8.2	Carta de Labores Mineras del DGLC	123
8.3	Métodos Extractivos	127
8.4	Insumos Básicos	133
9	ASPECTOS GEO-ECONÓMICOS	137
9.1	Producción	137
9.2	Productos y precios	139
9.3	Exportaciones	152
10	CONSIDERACIONES FINALES	160
11	BIBLIOGRAFÍA	163

LISTADO DE FIGURAS

Figura	Leyenda	Pág.
1.1-1	Mapa de Países donde se exporto Agatas y Amatistas	4
1.1-2	Fases del Proyecto Agatas y Amatistas	4
1.2-1	Ubicación de zona de Estudio	4
2.2-1	Etapas para la ejecución de la Carta Geológica del DGLC	11
2.2-2	Etapas para la ejecución de la Carta de Labores Mineras y Minera- Exploratoria del DGLC	11
3.2-1	Ubicación continental y contexto geológico regional de la Provincia Basáltica de Paraná	27
3.3-1	Carta geológica simplificada del Uruguay	27
3.3-2	Ubicación de perforaciones profundas de la cuenca Norte.	21
3.4-1	Evolución teórica del enfriamiento de un derrame basáltico	23
3.4-2	Modelo teórico de formación de patrones de zonas vesiculares	25
4.1-1	Provincia Gemológica Artigas-Río Grande do Sul.	44
4.2-1	Perfil geológico regional de la Zona Salto do Jacuí y columna estratigráfica del distrito minero Salto do Jacuí.	30
4.3-1	Secuencia estratigráfica de los derrames basálticos de la región de Alto Uruguai.	33
4.3-2	Perfil esquemático de los derrames Tipo I y II	44
4.3-3	Secuencia de cristalización silicosa más común en las geodas de la región de Alto Uruguai.	40
5.1-1	Disposición helicoidal del silíceo y el oxígeno en torno al eje ternario.	46
5.1-2	Formas simples y combinadas más comunes en el mineral cuarzo	54
5.2-1	Cristales de amatistas de yacimientos del DGLC	67
5.2-2	Inclusiones sólidas en cristales de amatistas	67
5.2-3	Esquema de los 2 tipos de centro de color.	61
5.2-4	Espectro de absorción óptica para dos muestras de amatista de Alto Uruguai.	63
5.2-5	Fotomicrografía de sección de la periferia de una geoda de la región de Alto Uruguai.	65
6.2-1	Carta geológica del DGLC – simplificada	95
6.2-2	Espesor de la pila volcánica en el Distrito Gemológico	74
6.3-1	Fotografías de afloramientos de la Colada 1	95
6.3-2	Litologías características del tope de las coladas mineralizadas	95
6.3-3	Perfiles esquemáticos de la colada 2	82
6.3-4	Foto de los contactos entre coladas 3 - 4 y 4 - 5	95
6.3-5	Perfiles esquemáticos de la colada 3	85
6.3-6	Perfiles esquemáticos de la colada 4	89
6.3-7	Relaciones arenisca y derrame	95
7.1-1	Espesores máximos del nivel mineralizado en el DGLC	97
7.1-2	Geodas de amatista de diferentes yacimientos del DGLC	120
7.1-3	Brechas hidráulicas, geodas vacías y fracturas mineralizadas	120
7.1-4	Perfil esquemático de frente extractivo sobre la colada 3	120
7.1-5	Foto panorámica y de detalle mostrando contactos entre nivel mineralizado y brechoide.	120
7.1-6	Perfil esquemático de frente extractivo sobre la colada 2 y 3	120
7.1-7	Foto del nivel mineralizado y contactos	120
7.1-8	Perfil esquemático y foto de detalle mostrando contactos entre nivel mineralizado y brechoide en colada 4	120

LISTADO DE FIGURAS – Continuación

Figura	Leyenda	Pág.
7.1-9	Relación entre recursos y reservas	103
7.2-1	Paragénesis típica y variaciones en geodas rellenas con amatistas	120
7.2-2	Asociaciones minerales en geodas del DGLC	120
7.3-1	Modelo teórico de formación de proto-geoda	110
7.3-2	Modelo teórico de estructuración interna de un derrame portador	111
7.4-1	Carta minera-exploratoria del DGLC - simplificada	120
8.1-1	Síntesis de la guía de evaluación utilizada para el relevamiento de la labores mineras	122
8.2-1	Criterios de agrupación de los elementos mineros relevados en el DGLC	125
8.2-2	Simbología utilizada en la Carta de Labores Mineras del DGLC	125
8.2-3	Carta de labores mineras del DGLC - simplificada	136
8.3-1	Explotación en forma de frentes sobre roca dura y blanda	136
8.3-2	Explotación en forma de cavas	136
8.3-3	Explotación en forma de cavas y mixta	136
8.3-4	Corte de geoda en frente de roca dura	136
8.3-5	Explotación subterránea a través de túneles	136
8.3-6	Ciclo de extracción de geodas por el método subterráneo	136
9.1-1	Evolución histórica de la producción de ágata en el periodo 1977-2006	159
9.1-2	Evolución histórica de la producción de amatista en el periodo 1977-2006	159
9.2-1	Productos derivados de la amatista	159
9.2-2	Productos derivados del ágata	159
9.2-3	Flujo diagrama del proceso de teñido de ágatas	159
9.3-1	Exportación en U\$S de Agatas y Amatistas discriminado por mercado y grado de elaboración	159
9.3-2	Exportación en U\$S de Ágatas y Amatistas trabajadas y en bruto discriminadas por mercados	159
9.3-3	Producción vrs. Exportación de amatistas	159
9.3-4	Producción vrs. Exportación de ágata	159
9.3-5	Cantidad de kg. exportados de Agatas en bruto durante el periodo 1977 al 2006	159
9.3-6	Volúmenes exportados en U\$S de Agatas en bruto durante el periodo 1977 al 2006	159
9.3-7	Cantidad de kg exportados de Agatas trabajadas durante el periodo 1977 al 2006	159
9.3-8	Volúmenes exportados en U\$S de Agatas trabajadas durante el periodo 1977 al 2006	159
9.3-9	Cantidad de kg exportados de Amatista en bruto y trabajada durante el periodo 1977 al 2006.	159
9.3-10	Volúmenes exportados en U\$S de amatista en bruto y trabajada durante el periodo 1977 al 2006	159
9.3-11	Cantidad de kg exportados de Amatista en bruto durante el periodo 1977 al 2006 discriminada por región/país	159

LISTADO DE TABALAS

Tabla	Leyenda	Pág.
3.1-1	Ejemplos de Provincias Continentales basálticas	13
3.2-1	Discriminación geoquímica de los basaltos de Serra Geral	16
3.3-1	Perforaciones “profundas” de la Cuenca Norte	20
4.3-1	Composición química de los derrames portadores de la región de Alto Uruguai y clasificación geoquímica	38
5.1-1	Características de algunos polimorfos de la sílice	48
5.1-2	Propiedades promedios de variedades macro y microcristalina de la sílice.	49
5.1-3	Clasificación de algunas variedades microcristalinas de sílice	49
5.1-4	Listado de algunas de las variedades de sílice	51
5.1-5	Formas cristalinas simples típicas del cuarzo	52
5.2-1	Valores ópticos de variedades de cuarzo macrocristalino de la Región de Alto Uruguai y Artigas.	57
5.2-2	Análisis químicos de amatista de geodas de la región de Alto Uruguai	57
5.2-3	Análisis químicos de las 3 fases silicosas de geodas de la región de Alto Uruguai	58
5.2-4	Concentración de Fe en muestras de amatistas de Alto Uruguay, con diferente intensidad de color	62
5.2-5	Valores ópticos de variedades de cuarzo microcristalina (ágata)	65
8.2-1	Listado de frentes relevados en el DGLC	130
8.2-2	Listado de frentes con galerías relevados en el DGLC	130
8.2-3	Listado de zonas de cavas relevados en el DGLC	130
8.4-1	Consumo anual de material explosivo para desmonte de roca	134
9.1-1	Producción de ágata y amatista en el periodo 1977-2006	138
9.2-1	Criterios para la evaluación de geodas con amatista	142
9.2-2	Criterios para la evaluación de la mineralización en geodas con amatista	143
9.2-3	Criterios para la evaluación de los cristales de las geodas con amatista	144
9.2-4	Criterios para la evaluación de los picos de las geodas con amatista	145
9.2-5	Soluciones químicas características usadas para el teñido de ágatas	149
9.2-6	Precio de venta de ágata exportada entre el 2003 y el 2006	150
9.2-7	Valores de amatista gema en bruto	151
9.2-8	Valores de citrino gema en bruto	151
9.3-1	Principales destinos de las ágatas en bruto	154
9.3-2	Evolución de las ventas al Mercado Chino	154
9.3-3	Principales destinos de las ágatas trabajadas	155
9.3-4	Principales destinos de las amatistas en bruto	157
9.3-5	Principales destinos de las amatistas “trabajadas”	158

LISTADO DE CUADROS

Cuadro	Leyenda	Pág.
4.3-1	Diferentes asociaciones de minerales encontradas en las geodas de la región de Alto Uruguay	42
4.3-2	Paragénesis mineral y pulsos de mineralización encontrados en distintas geodas de la región de Alto Uruguay	43
6.1-1	Estratigrafía del Distrito Gemológico Los Catalanes según los antecedentes	69
6.1-2	Diferentes tipos del tope de coladas de la Formación Arapey	69
6.2-1	Estratigrafía relativa del DGLC	73
6.2-2	Información de perforaciones testigadas ejecutadas en la zona de estudio y alrededores	76
7.2-1	Algunas secuencias minerales encontradas en los yacimientos del DGLC	105
7.4-1	Modelo descriptivo preliminar de los yacimientos del DGLC	116
7.4-2	Zonas favorables para la exploración	119

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos Generales

Las piedras preciosas Uruguayas, en especial la amatista de primera calidad, son conocidas y admiradas en muchas partes del mundo. En este sentido estas piedras han sido exportadas a más de 40 países, siendo los principales mercados: Europa (en especial Alemania), Estados Unidos, Brasil y China, con exportaciones que alcanzaron los 5 millones de dólares y cerca de 18 millones de kg. en el 2006. Ver Figura 1.1-1 / Anexo 1.

Han sido explotadas por más de un siglo, aunque su extracción sistemática y relativamente mecanizada se realiza aproximadamente a partir de la década del ´70.

La importancia de esta riqueza mineral se manifiesta de dos formas diferentes. Por un lado y como es obvio, es la base de los emprendimientos mineros, que generan en forma directa e indirecta una importante demanda de empleo y servicios. Pero además estrechamente vinculado a la minería , esta riqueza mineral sustenta una importante actividad microempresarial, como son los talleres de transformación-lapidación de piedras preciosas.

A pesar de la importancia socio-económico de este bien mineral y de la larga historia extractiva son muy escasos los datos de base e información general así como prácticamente nulo el conocimiento geocientíficos básicos y aplicados de este “patrimonio” mineral único en el mundo.

Esta carencia de información básica y aplicada y la ausencia casi total de estudios geocientíficos repercute negativamente en este subsector minero de diversas maneras :

- Carencia de criterios y elementos de control geológicos válidos para la exploración y explotación del recurso.
- Desconocimiento de parámetros básicos de los yacimientos que impide la cuantificación real y potencial de los depósitos.
- Desconocimiento de la geometría del depósito y distribución de la mineralización lo que impide una correcta planificación y se traduce en una extracción poco racional de los yacimientos y despilfarro de material.
- Desconocimiento gemológico técnico de las especies minerales existentes.

- Falta de datos de base, lo que impide una correcta regulación, gestión y control de la actividad minera.
- Escasa o nula promoción y valoración de nuestras riquezas minerales.

Este proyecto pretende remediar o al menos mejorar el panorama descrito anteriormente a través de la realización de diferentes trabajos, utilizando herramientas, técnicas y el “saber hacer” de las Ciencias Geológicas principalmente aplicadas.

Si bien el estudio se desarrollará en forma integrada para abarcar y evaluar todos los aspectos geológicos-mineros del distrito minero, en la práctica el Proyecto será ejecutado en 4 FASES. Cada una de ellas abordará el estudio de los yacimientos de ágatas y amatistas desde diferentes ángulos, escalas y/o con distintos grados de profundidad. Ver Figura 1.1-2 / Anexo 1

El presente trabajo (Cartas y Memoria explicativa) es el resultado de las tareas realizadas durante la Fase I del proyecto : “Cartografía Geológica y Relevamiento de Labores Mineras del Distrito Gemológico de Los Catalanes”.

1.2 Zona de Estudio

Las ágatas y amatistas se localizan dentro de estructuras conocidas genéricamente como geodas, en el interior de lavas basálticas Cretácicas.

Si bien han sido observadas en varios puntos del norte de nuestro País, es en una pequeña región al sur de la ciudad de Artigas, conocida como los "Catalanes", donde se ha concentrado la actividad exploratoria y extractiva.

Esta zona, denominada en este trabajo Distrito Gemológico Los Catalanes (DGLC) tiene una extensión aproximada de 500 km² y es donde se concentraran los trabajos en esta primera etapa.

La zona central del distrito minero se localiza a unos 50 Km. al SE de la ciudad capital de Artigas por ruta nacional N° 30 y a unos 550 Km. al N de Montevideo por rutas nacionales N° 5 y 30 . Ver Figura 1.2-1 / Anexo 1

ANEXO 1

DESTINO DE LAS AGATAS Y AMATISTAS URUGUAYAS

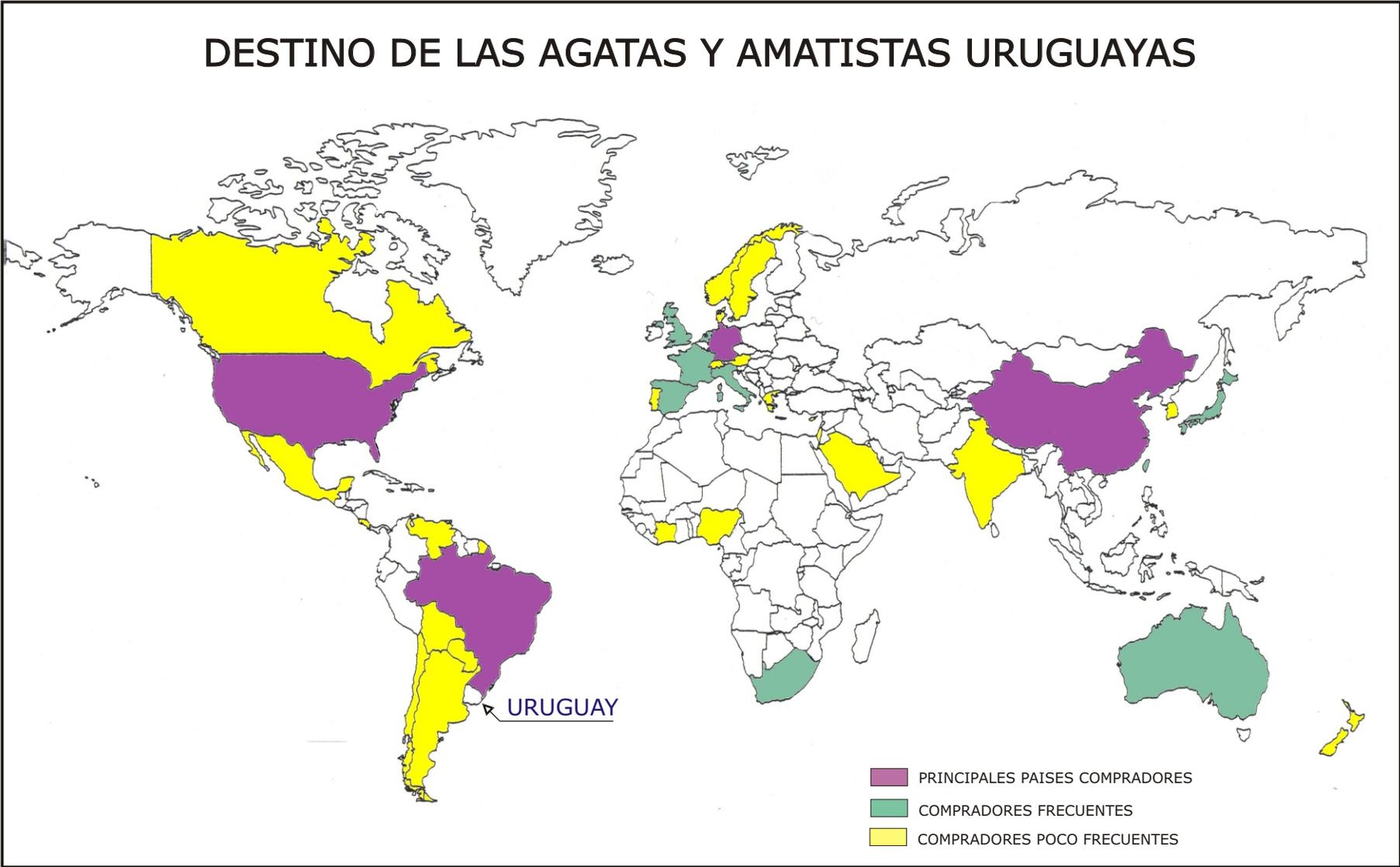
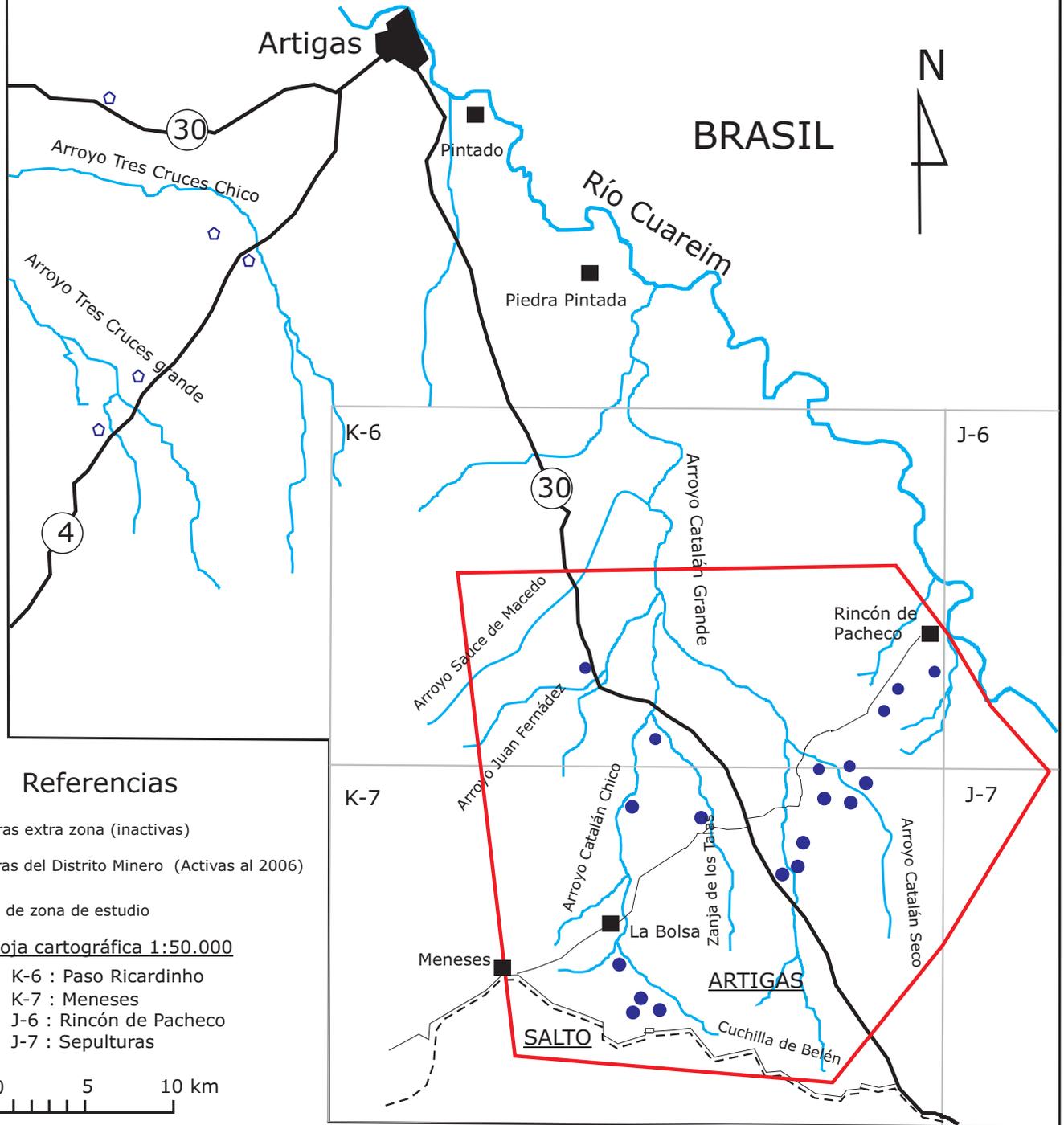


Figura 1.1-1: Países donde se exporto, por lo menos una vez, ágatas y/o amatistas Uruguayas, durante los últimos 30 años.

PROYECTO AGATAS Y AMATISTAS					
FASE	ACTIVIDAD	PRODUCTOS	DISCIPLINAS	EXP./EQU.	DETALLE
I	Cartografía geológica Relevamiento minero	Carta geológica Carta minera Carta exploratoria	Cartografía geológica Exploración Geoquímica / petrografía Mineralogía	No / No	(-) 
II	Estudio del nivel mineralizado Estudio estructurales Estudio mineralógicos	Modelo Geológico (Geometría, distribución, guías, controles alteración, paragenesis, etc.) Mineralogía	Cartografía de detalle Estructural Geoquímica / petrografía Mineralogía sistemática	Si / No	
III	Estudio con georadar Entrenamiento	Cartas geofísicas (Radigramas) Formación de personal	Geofísica	Si / Si	
IV	Verificación de productos - Modelo geológico - interpretación geofísica	Seguimiento de extracción - Canteras "pilotos" - Trabajo en conjunto Minero-Técnico		Si / Si	

Figura 1.1-2 : Fases del proyecto Agatas y Amatistas y resultados esperados (EXP.: expertos / EQU. : equipamiento)

DISTRITO GEMOLOGICO LOS CATALANES



Referencias

- ◊ Canteras extra zona (inactivas)
- Canteras del Distrito Minero (Activas al 2006)
- ◻ Limite de zona de estudio

Hoja cartográfica 1:50.000

- K-6 : Paso Ricardinho
- K-7 : Meneses
- J-6 : Rincón de Pacheco
- J-7 : Sepulturas

0 5 10 km

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos

Como ya fue mencionado en la introducción esta Fase tiene como objetivos específicos el elaborar un documento geológico-minero general sobre el Distrito Gemológico Los Catalanes. Toda la información generada en esta Fase pretenden ser la “base” geológico-minera para la realización de estudios más detallados y aplicados sobre los yacimientos del distrito minero y que serán ejecutados en las siguientes Fases.

En forma esquemática se presenta a continuación los objetivos, así como las metas, tareas y los resultados esperados :

I. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE SEMI-DETALLE

Metas

a. Delimitar los bordes de las coladas aflorantes en las zonas de estudio.

Tareas

- Fotointerpretación : morfología, textura y color en fotos aéreas 1:20.000.
- Cortes geológicos, chequeo de campo.

b. Definir las características “distintivas” de cada pulso magmático (colada).

Tareas

- Morfología, color-textura y altimetría (fotos y cartas).
- Descripción macroscópica de afloramiento/perfiles: estructura intraderrame, petrografía, alteración, etc..
- Toma de muestras de roca en cada colada: caracterización petrográfica - geoquímica.

c. Confección de la estratigrafía de la pila volcánica, definiendo la “posición” relativa de las coladas mapeadas.

Tareas

- Procesamiento, evaluación y análisis de toda la información generada en los ítem Ia y Ib.

Resultados esperados

1. Carta geológica a escala 1:20.000 del distrito Gemológico Los Catalanes con separación de las diferentes coladas y estratigrafía de la pila volcánica.
2. Caracterización de cada colada mapeada, en base a criterios múltiples:
 - Textura/color, morfología y altimetría (foto aérea y planos altimétricos).
 - Estructura, textura-mineralogía, niveles “guías” (afloramientos/perfiles).
 - Análisis petrográfico-geoquímico (muestras de roca).

II. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LOS YACIMIENTOS DE PIEDRAS PRECIOSAS

Metas

- a. Caracterización del nivel mineralizado.

Tarea

- Descripción sistemática y detallada a nivel de labores mineras:
 - Estructura y relación de distintos “niveles”: nivel geódico, vesicular, brechoide, lentes de areniscas, colada superior.
 - Geometría y petrografía de cada nivel (en especial el nivel mineralizado).
 - Descripción de la mineralización en términos de cantidad, calidad, forma, distribución y paragénesis.

- b. Primera aproximación a un Modelo “Descriptivo-Prospectivo” de este tipo de yacimiento.

Tareas

- Procesamiento y análisis de toda la información recogida en el ítem IIa

- c. Delimitación de zonas favorables y evaluación primaria de los Recursos Geológicos.

Tareas

- Procesamiento, evaluación y análisis de toda la información de los ítem anteriores (Ia, Ib, Ic y IIa, IIb).

Resultados esperados

1. Carta minera-exploratoria, con separación de coladas portadoras, nivel productivos y labores mineras.
2. Modelo de yacimiento, criterios y controles geológicos (Preliminar).
3. Selección de yacimientos “claves” para estudiar en mayor detalle (fase II y III).

III. RELEVAMIENTO DE LABORES EXTRACTIVAS

Meta

- a. Realizar un “censo” sistemático de las labores mineras del distrito.

Tareas

- Cantidad, tipo y características de las labores del distrito minero.
- Equipamiento, maquinarias e insumos para la extracción.
- Descripción de métodos de extracción.
- Personal, infraestructura.
- Materiales comercializados, destino, etc.

Resultados

1. Carta de labores mineras del DGLC.
2. Actualización del conocimiento de la actividad extractiva de piedras preciosas.

2.2 Metodología

En el ítem anterior ya se esbozo la metodología utilizada para elaborar este trabajo : tareas ejecutadas. Para la cartografía geológica se usó la metodología tradicional, pero adaptada a las características particulares del área (en este caso separación de coladas y correlación de las mismas) y con vistas a producir un documento de “soporte” para el estudio de los depósitos de ágatas y amatistas. Más abajo se dan las pautas seguidas para la elaboración de la carta. Ver Figura 2.2-1 / Anexo 2

La Carta Exploratoria o de Favobaribilidad es elaborada básicamente a partir del procesamiento y análisis de toda la información producida y los antecedentes recabados.

La Carta de Labores Mineras se realizó en base a una recopilación y análisis de datos mineros y un relevamiento sistemático de campo. Ver Figura 2.2-2 / Anexo 2 y el capítulo 8.1 donde se detalla la instrumentación de la carta.

PAUTAS SEGUIDAS PARA LA CARACTERIZACION DE COLADAS

Se utilizaron elementos y criterios múltiples a diferentes escalas, para delimitar y caracterizar las coladas aflorantes en el Distrito Gemológico de Los Catalanes.

En función de lo anterior se pretende definir la “estratigrafía” relativa de la región estudiada, correlacionando los distintos derrames de la pila volcánica.

En base a las tareas a ejecutar y a la escala de trabajo se pueden distinguir 3 grupos de elementos/criterios que se describen a continuación:

I. Estudio de fotos aéreas, imágenes satelitales y hojas topográficas

Análisis y evaluación de los documentos cartográficos con comprobación- chequeo de campo

- Color y textura en fotos e imágenes.
- Morfología a nivel de colada: formas de interfluvio y vertientes.
- Posición altimétrica.
- Identificación-ubicación de labores mineras.

II. Caracterización de cada colada

Estudio sistemático de las coladas aflorantes, nivel por nivel

a. **Piso de colada**

- Fracturación (si/no): tipo, espaciamiento, extensión (nivel lajoso?).
- Vesículas (si/no): tamaño, forma, orientación, densidad, tipo de relleno.
- Roca: color tamaño de grano, alteración, etc..

b. **Zona media:** basalto masivo, que puede presentar algún tipo de padrón de fracturación, así como macrovacuolas (geodas) en su parte superior.

b₁. Parte inferior-media

- Fracturación (si/no): descripción sistemática de la misma (orientación, espaciado, longitud, etc.) :
1. Fracturas verticales-planas, que generan prismas regulares de sección hexagonal o pentagonal (Basalto Columnar).
 2. Fracturas irregulares, sub-verticales que generan prismas angostos con caras curvas y terminación tetragonal (nivel de “entablamento”).
 3. Fracturas curvas, disyunción esferoidal o elíptica.
- Roca: color, tamaño de grano, alteración, etc.
 - Potencia de esta parte.

b₂. Parte superior.

- Macrovacuolas: tamaño, formas, orientación y densidad.
- Paragénesis del relleno silíceo de las geodas:
- Roca: color, tamaño de grano, alteración, zona de contacto basalto-geoda.
- Potencia de esta parte.

c. **Zona superior.** La parte cuspidal de la colada presenta generalmente una gran densidad de vesículas pequeñas (basalto vesicular).

Rematando este nivel vesicular, puede aparecer un nivel de brechas ígneas.

c₁. Basalto vesicular.

- Vesículas (si/no): tamaño, formas, orientación, densidad, tipo de relleno.
- Fracturación: (si/no): tipo, espaciamiento, orientación.
- Roca: color, tamaño de grano, alteración.
- Potencia.

c₂. Brecha ígnea

- Seudoclastos: descripción detallada.

- Matriz: ídem.
- Potencia.

d. **Episodio sedimentario:** Entre derrame y derrame puede aparecer material sedimentario (en general arena eólica) conocido como arena intertrap. Estas eolianitas generalmente aparecen bajo dos formas: mantos horizontales decimétricos, con cierta continuidad lateral y rellenando fracturas en forma de filones.

d₁. Mantos de arena: potencia, continuidad lateral, descripción litológica, estructuras primarias, silicificación, etc.

d₂. Filones de areniscas: orientación espacial, espesor, espaciamiento, descripción litológica, silicificación, etc..

III. Estudio petro-geoquímico

a. Muestreo del nivel masivo de cada colada.

- Ejecución de láminas delgadas.
- Realización de análisis químicos (mayores, menores, trazas).

b. Descripción petrográfica sistemática.

c. Evaluación-análisis de resultados químicos.

ANEXO 2

PROYECTO AGATAS Y AMATISTAS (Fase I)

GEOLOGIA DEL DISTRITO GEMOLOGICO LOS CATALANES

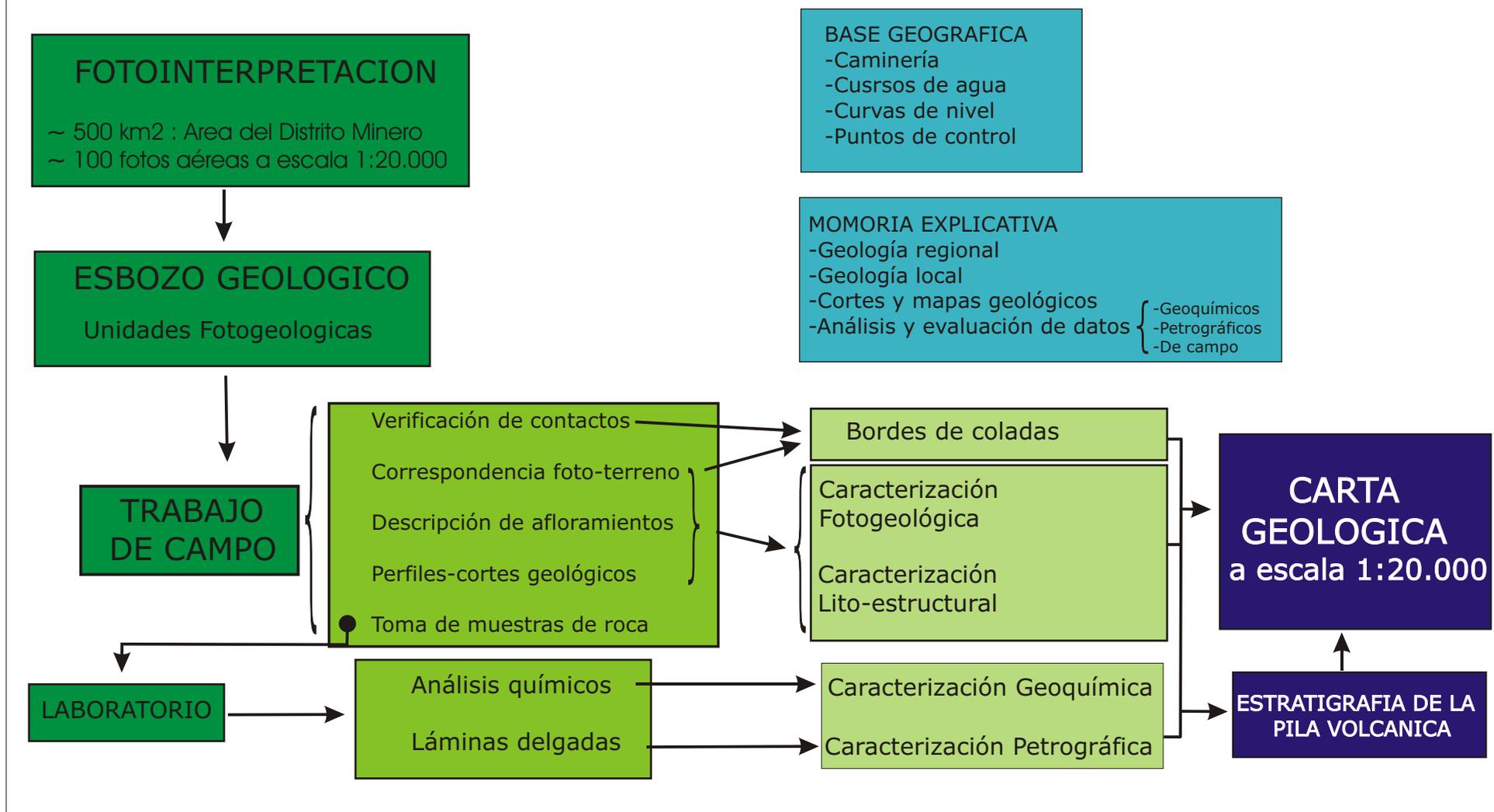


Figura 2.1-1 : Etapas para la ejecución de la Carta Geológica del DGLC

PROYECTO AGATAS Y AMATISTAS (Fase I)

MINERIA DEL DISTRITO GEMOLOGICO LOS CATALANES

PROCESAMIENTO Y ANALISIS :

Imágenes satelitales
Pedimentos mineros
Base de datos Geominera

BASE GEOGRAFICA

Red hidrográfica, caminería, puentes
trillos de labores, curvas de nivel, etc.

MEMORIA EXPLICATIVA

Yacimiento, mineralización, actividad extractiva,
criterios prospectivos, modelo descriptivo

RELEVAMIENTO SISTEMATICO DE LABORES MINERAS

ESTUDIO DE YACIMIENTOS

P/A

INFORMACION
GEOLOGICA

CARTA MINERA - EXPLORATORIA

Coladas portadoras
Características del yacimiento
Mineralización
Zonas favorables

CARTA DE LABORES MINERAS

Labores mineras
Pedimentos
Padrones
Accesos

Figura 2.2-2 : Etapas para la ejecución de las Cartas de Labores y Minera-Exploratoria del DGLC

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1 Grandes Provincias Basálticas

Episódicamente la Tierra “arroja” grandes cantidades de magma sobre la superficie, comúnmente basáltico, en cortos períodos de tiempo geológico. Como resultado de este fenómeno se generan enormes extensiones de rocas ígneas conocidas en la literatura como Grandes Provincias Igneas (Large Igneous Provinces - LIPs) conformando principalmente derrames basálticos continentales, grandes plateau oceánicos, dorsales asísmicas y márgenes volcánicos tipo “rifting” [Saunders A. D. 2005]

Las grandes áreas que ocupan estas manifestaciones y la gran tasa de extrusión, atestiguan procesos geológicos inusuales que involucraron enorme cantidad de energía térmica.

El origen de dicha energía es materia de debate : del interior profundo de la Tierra a través de plumas mantélicas o del impacto de meteoritos o de procesos de “Delaminación” en la base de la Corteza o Litosfera [Saunders A. D. 2005]

Las LIPs continentales están formadas por derrames sub-aéreos, extruídos a partir de gran densidad de fisuras y suelen estar formadas por magmas de baja viscosidad y composición predominantemente toleítica.

La gran tasa de extrusión (generalmente decenas, centenas y hasta millones de km³ de lavas expulsada en unos pocos millones de años) y la baja viscosidad de los magmas basálticos posibilita el gran desarrollo lateral de estas provincias (es común extensiones de ciento o millones de km²).

La tendencia de estas manifestaciones ígneas es formar flujos de lava con importante continuidad lateral (denominados derrames o coladas) y que se repiten en cortos períodos de tiempo, propiciando al final del evento, la superposición de varias coladas y originando una espesa pila volcánica o secuencia de derrames.

En definitiva, algunas de las características comunes de todas estas Provincias Igneas Continentales es la ausencia casi total de rocas sedimentarias intercaladas, escasos o nulos fenómenos de erosión interderrames, enormes volúmenes de magma eruptados en cortos períodos de tiempo (gran tasa de extrusión) y extensas dimensiones de las coladas individuales.

En la tabla siguiente se muestra características geométricas de algunas Provincias Basálticas Continentales :

PROVINCIAS	EDAD (M.a.)	AREA (10 ⁶ km ²)	VOLUMEN ACTUAL (10 ⁶ km ³)	VOLUMEN ORIGINAL (10 ⁶ km ³)	ESPESOR MÁXIMO (km)
Columbia River	6-16	0,16	0,18	0,18	+1,5
Deccan	60-65	0,5	0,52	1,5	+2,0
Paraná	120-132	1,2	0,80	1,5	1,8
Karro	178-195	3,0	-	1,5	9,0
Traps siberianos	248	0,34	0,34	+2,0	3,5

Tabla 3.1-1 Ejemplos de Provincias Continentales basálticas (datos tomados de Fischer A. – 2004 y Correa T. - 1995).

3.2 Provincia Basáltica de Paraná

La cuenca del Paraná se desarrolla sobre la Plataforma Sudamericana y abarca un área de alrededor de 1,4 millones de km². El relleno de dicha estructura está representada por 3 secuencias sedimentarias marino-continentales Paleozoicas y 2 secuencias sedimentarias continentales Mesozoicas, entre las que se intercala un extenso y voluminoso paquete de rocas volcánicas. [Juchem L. –1999]. El origen de estas lavas está estrechamente relacionado a los procesos tectónico-térmicos, responsables de la ruptura del supercontinente Gondwana y consecuente separación de América y África y origen-apertura del océano Atlántico sur.

La extrusión de estas lavas basálticas se produce a través de una red muy densa de fisuras (basalto fisural) sobre la corteza continental.

Dichos basaltos fisurales y subaéreos, son uno de los más importantes eventos efusivos continentales del Planeta y conforman lo que se conoce como Provincia Basáltica de Paraná (PBP). Ver Figura 3.2-1 / Anexo 3.

La PBP ocupa aproximadamente el 75 % de la cuenca del Paraná, con un área estimada de unos 1,2 millones de km², extendiéndose por el NE de Argentina (Formación Cuaruzú – Miembro Posadas), al E de Paraguay (Formación Alto Paraná), el S-SW de Brasil (Formación Serra Geral) y el N de Uruguay (Formación Arapey).

Existe un gran número de dataciones (principalmente de la Unidad Serra Geral), utilizando diversos métodos que arrojan valores muy dispersos. De todas maneras las dataciones ⁴⁰Ar-³⁹Ar, consideradas las más precisas, indican que el episodio efusivo principal se desarrolla entre los 119 a 134 M.a., pero con evidencias de la existencia de un magmatismo temprano (135-138 M.a.) y otro evento más joven (120-128 M.a.) [Peate D. –1997].

Renne R. et al – 1996 (citado por Peate D. –1997) estima que la duración del principal evento efusivo fue de alrededor de 3 M.a., por otro lado Turner P. et al –1994 (citado por Peate D. –1997) estima que las lavas fueron eruptadas en un intervalo de 10 M.a. con una tasa media de efusión de aproximadamente 0,1 km³ año⁻¹.

El magmatismo de la PBP es fuertemente bimodal, con un "gap" de sílice característico, marcado por la ausencia de rocas con tenores de SiO₂ entre 60-64 % en peso, produciéndose una división natural entre los términos

básicos (basalto y andesitas) y términos ácidos (riolitas y riodacitas) [Peate D. –1997].

Los basaltos son de carácter toleítico, con bajos valores de MgO (3-7 % en peso) y representan un 90 % del total de la pila volcánica (por otro lado las andesitas representan alrededor del 7 % del total).

Las rocas ácidas, constituidas principalmente por riodacitas, riolitas y dacitas, representan apenas un 3 % de toda la secuencia y se localizan típicamente en el tope de la misma, restringidas a los últimos estadios del evento efusivo [Peate D. –1997].

Desde el punto de vista geoquímico, tanto las rocas básicas como ácidas pueden agruparse en 2 tipos, en función del contenido de TO_2 : rocas con alto o bajo titanio.

A su vez los dos tipos de basaltos, pueden subdividirse en función del contenido y relación de elementos mayores y trazas (principalmente elementos incompatibles), con una denominación característica, como se muestra en la tabla 3.2-1

También las rocas ácidas pueden ser discriminadas en función del contenido de Ti : rocas ácidas tipo Chapecó con altos contenidos de Ti y elementos incompatibles y rocas ácidas tipo Palmas con bajo contenido de Ti y elementos incompatibles.

Existe cierta zonación regional de la composición de las lavas, con basaltos con alto contenido en titanio (tipo Paranapanema y Pitanga) ubicados mayormente en el norte de la Provincia y basaltos con bajo contenido en titanio (tipo Gramado y Esmeralda) localizados al sur de la Provincia.

	BASALTOS ALTO Ti			BASALTOS BAJO Ti		
	Urubici	Pitanga	Parana-panema	Ribeira	Esmeralda	Gramado
SiO ₂	>49	>47	48-53	49-52	48-55	49-60
TiO ₂	>3,3	>2,8	1,7-3,2	1,5-2,3	1,1-2,3	0,7-2,0
P ₂ O ₅	>0,45	>0,35	0,2-0,8	0,15-0,50	0,1-0,35	0,05-0,40
Fe ₂ O ₃	<14,5	12,5-18	12,5-17	12-16	12-17	9-16
Sr	>550	>350	200-450	200-375	<250	140-400
Ba	>500	>200	200-650	200-600	90-400	100-700
Zr	>250	>200	120-250	100-200	65-210	65-275
Ti / Zr	>57	>60	>65	>65	>60	<70
Ti / Y	>500	>350	>350	>300	<330	<330
Zr/Y	>6,5	>5,5	4,0-7,0	3,5-7,0	2,0-5,0	3,5-6,5
Sr/Y	>14	>8	4,5-15	5-17	<9	<13
Ba / Y	>14	>9	5-19	6-19	<12	<19

Tabla 3.2-1 : Discriminación geoquímica de los basaltos de Serra Geral según Peate D. et al 1992 (citado por Heemann R. 2005). Los valores de mayores en % en peso y trazas y menores en ppm.

3.3 Formación Arapey

La cuenca de Paraná (conocida en su extensión Uruguaya, como Cuenca Norte) ocupa unos 100.000 km² en nuestro País, con espesores que pueden alcanzar los 2,5 km. y un registro sedimentario y volcánico que va desde el Devoniano hasta el Cretácico Tardío. [De Santa Ana y Verolasvsky – 2004] Una buena parte de la Cuenca Norte esta cubierta por lavas básicas, que representan el extremo SE de la Provincia Basáltica de Paraná.

Dichas lavas son conocidas en Uruguay como Formación Arapey [Bossi - 1966] y redefinida por Bossi y Heide -1970 como “sucesión de derrames basálticos con delgados niveles de arenisca eólicas interestratificados”.

Es la Formación más extendida del Uruguay, abarcando cerca del 25 % del territorio continental Uruguayo, aproximadamente unos 42.000 km². Ver Figura 3.3-1 / Anexo 3

Se han identificado hasta 50 derrames diferentes con potencia promedio de 30 m, con valores extremos que verían entre 8 y 60 m y extensiones de algunas coladas individuales de más de 5000 km² [Bossi y Navarro 1988].

La mayor potencia conocida de la pila volcánica, se registra en la perforación termal “Daymán-Salto” con 955 m de basalto, donde se superponen más de 20 coladas y varios niveles de arenisca interderrame (intertrapp) intercalados.

Ver Figura 3.3-2 y Tabla 3.3-1 .

Según [Bossi y Navarro -1988] la sucesión de derrames comenzaría en el borde oriental del área basáltica, extendiéndose posteriormente hacia el W-NW, generando una especie de cuña con los mayores espesores en el litoral del río Uruguay. Ver Figura 3.3-2

La estructura intraderrame presenta siempre un nivel masivo, ocupando la mayor parte del derrame y con una grado de alteración variable según la colada. En la parte superior puede presentar los siguientes niveles :

- Nivel de basaltos brechoide : En esta denominación se incluyen las brechas ígneas formadas por bloques angulosos de basalto vacuolar, cementados por material más fino también de naturaleza volcánica y las brechas de bloques de basalto vacuolar y areniscas con cemento silíceo o calcáreo.

Pueden aparecer tanto bloques de arenisca englobados por basaltos, como bloques angulosos de lava vacuolar, englobados por matriz sedimentaria.

- Nivel vesicular : zona con alta densidad de vesículas (entre 5 al 30 % de la masa de basalto) de diámetro milimétrico a centimétrico, forma cilíndrica, elipsoidal o irregular y vacías o rellenas de arcillas, calcita o sílice. Este nivel puede presentarse muy alterado o tenaz según la colada que se trate.
- Nivel geódico : zona con macro-vesículas, de tamaño que va desde decímetros hasta más de 3 m. Formas comunes son cilíndrica, elíptica e irregular. Algunas aparecen vacías y otras con relleno síliceo de ágata y/o amatista. En algunas zonas, como en Los Catalanes, este nivel soporta una extracción económicamente rentable.
- Entre derrame y derrame puede aparecer material sedimentario (generalmente arena eólica) conocida en la literatura como arena intertrapp. Esta arena interderrame aparece bajo dos formas básicas: mantos horizontales decimétricos, con cierta continuidad lateral y rellenando fracturas (“filones”) generalmente verticales a sub-verticales.

La presencia de diferentes tipos de discontinuidades de enfriamiento y las disyunciones que las mismas generan, pueden producir en algunos derrames : fracturación horizontal densa – nivel lajoso / fracturación vertical espaciada y regular – nivel columnar y fracturación curva – nivel esferoidal-elipsoide.

Según Bossi et al 1973 se pueden separar diferentes zonas dentro del área basáltica en función de su estructura, petrografía y textura :

- Zona I : Sector centro-occidental (entre el Río Uruguay y el A° Arerungúa). Estructura sub-horizontal, espesores de pila volcánica cercanos a los 1000 m, con hasta 26 coladas superpuestas de potencia promedio de 35 m.

Esta zona esta formada por basaltos equigranulares, de grano fino hasta grueso, en su mayoría con olivino. Potentes niveles amigdaloides y abundantes niveles de arenisca intercalados

- Zona II : En el sector NE (A° Arerungúa-Catalán) con espesor de la pila de hasta 400 m y un máximo de 13 coladas superpuestas en el Oeste y 5-6 coladas superpuestas como máximo en el Este.

La potencia de los derrames varia entre 7 y 60 m, en general extensos, con abundantes niveles de arenisca intercalada y frecuentes brechas en la cima. Los basaltos son de grano fino, equigranular y frecuente pero escaso olivino.

- Zona III : Sector Sur-oriental del área basáltica, con buzamiento constante hacia el SW. Con espesor total de entre 200 y 300 m, 8 a 12 coladas superpuestas, en general poco potentes y de escasa extensión. Las lavas son porfíricas y ricas en olivino en la base, siendo las coladas más jóvenes equigranulares y sin olivino. Sin niveles de arenisca y con pocas coladas con brecha.

Desde el punto de vista petrográfico las coladas fueron estudiadas por Fernández A. y Ledesma J. - 1974 y establecieron los siguientes criterios petrográficos de correlación :

- "Todas las coladas estudiadas poseen suficiente homogeneidad en todo su desarrollo para mostrar rasgos petrográficos comunes en cualquier punto de la observación
- Cada colada posee rasgos petrográficos específicos y que la caracterizan inequívocamente y la diferencian de coladas vecinas
- Las características texturales relacionadas al grado de cristalización de la lava en el momento de la efusión y las características mineralógicas dependientes del grado de diferenciación, son constantes en cada colada"

Según la clasificación geoquímica, propuesta por Peate et al.-1992, los basaltos ubicados al W-SW del área estarían integrados por rocas de bajo contenido en titanio (Bti), con basaltos tipo Esmeralda recubiertos por basaltos tipo Gramado. Al NE del área aparecen en sub-superficie basaltos de alto titanio-Hti, (tipo Paranapanema) recubiertos por basaltos tipo Gramado. [Turner et al. – 1999]

Las dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de estas rocas arrojan resultados de $132,9\pm 1,3$, $132,2\pm 0,5$, $131,8\pm 1,04$ y $129,9\pm 1,1$ M.a. según datos presentados por

Féraud et al.-1999 [citado por Muzio R. - 2004] y $126,8 \pm 2$ y $127,6 \pm 1,2$ según datos de Turner et al.-1994 [citado por Turner et al. - 1999].

Perforación	Formación Tacuarembó Potencia (m)	Formación Arapey		Formación Cuaró
		Potencia (m)	N° de Coladas	
1-Artigas	190	0	0	453
2-Pelado	450	234	5	311
3-Yacaré	304	421	9	295
4-Itacumbú	359	421	10	345
5-Gaspar	322	513	10	175
6-Belén	407	460	9	305
7-Arapey	275	540	13*	0
8-Salto	195	955	22	0
9-Quebracho	215	575	10	0
10-Ghichón	0	450	10	0
11-P. Ulleste	0	360	10*	0
12-R. Bonete	0	160	8*	0
13-Salsipuedes	0	210	8	0

Tabla 3.3-1 : Perforaciones “profundas” de la Cuenca Norte con información de la potencia de la Formación Arapey, las intrusivas asociadas y la Unidad subyacente. (Fuente : De Santa Ana & Verolasvsky – 2004 / *datos extraídos de Bossi & Schipilov - 1998). Ver Figura 3.2-2.

Asociado espacial y genéticamente a las lavas antes descritas se desarrollan rocas hipabisales básicas de estructura en filones y sills, definida como **Formación Cuaró** [Preciozzi et al – 1988]. Dichas rocas intruyen a unidades del basamento a sedimentos de la Cuenca de Paraná (principalmente Devónicos-Pérmicos) y a las propias lavas de la unidad Arapey. Ver figura 3.3-1. Han sido atravesadas en sub-superficie por varias perforaciones profundas, con espesores acumulados de hasta 450 m. Ver Tabla 3.3-1.

Las rocas son diabasas y microgabros, con textura porfírica intersectorial, con fenocristales de tamaño milimétrico, con plagioclasa (Labrador), piroxeno (Augita-Pigeonita) y escaso olivino y una matriz a plagioclasa y piroxeno [Preciozzi et al – 1988].

La edad de estas rocas son de $132,1 \pm 1,06$ y $131,6 \pm 1,3$ M.a. según datos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ presentados por Féraud et al. 1999 [citado por Muzio R. - 2004].

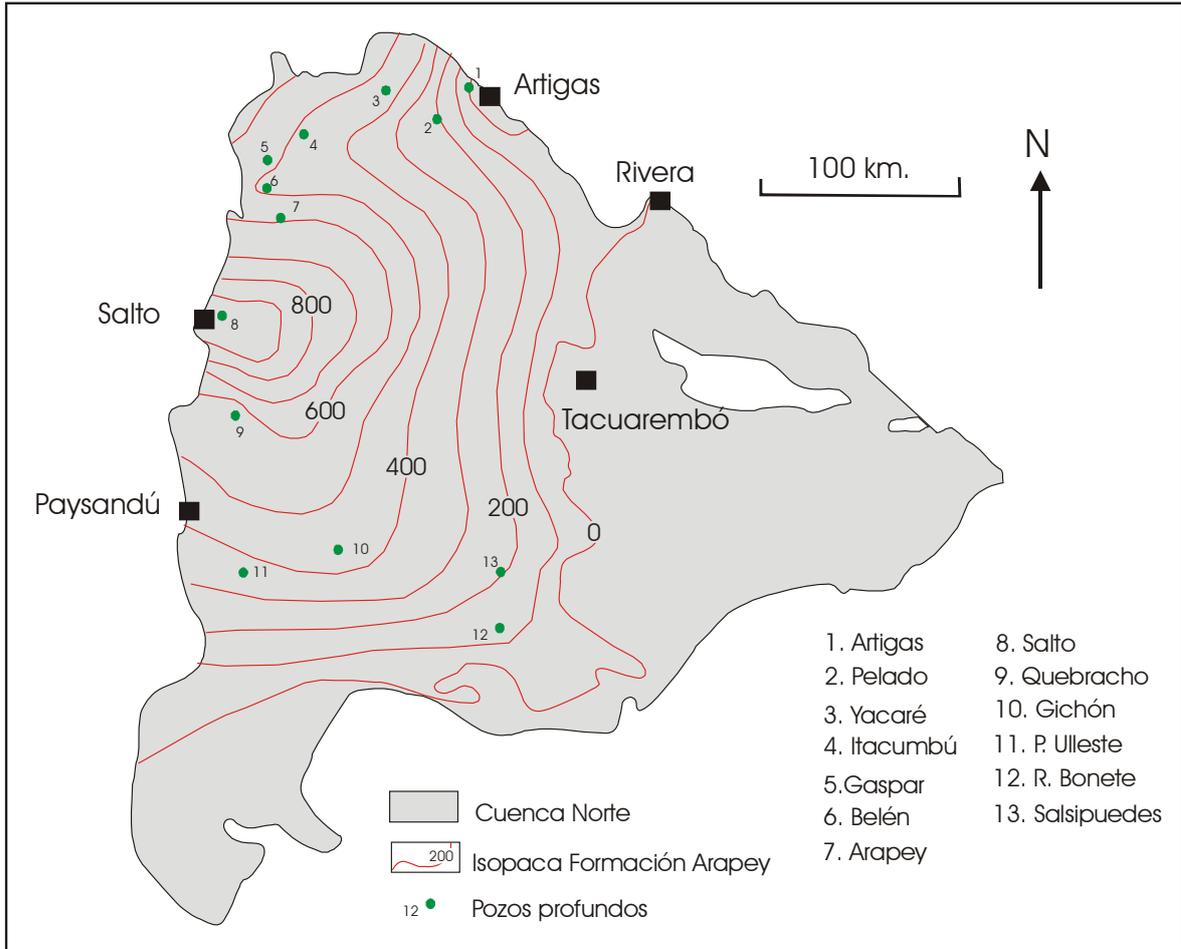


Figura 3.3-2 : Ubicación de perforaciones profundas, isopacas de F. Arapey y extensión de la cuenca Norte. (Fuente de Santa Ana - Ucha N.1994)

3.4 Elementos y zonificación intraderrame

Los derrames sub-aéreos suelen presentar distintos elementos y zonificaciones primarias, originadas durante el ascenso, emplazamiento y solidificación de la lava y vinculados principalmente a la descompresión y a la variación en la tasa de enfriamiento. Dos de estos elementos primarios, comúnmente presentes en las lavas son las juntas y las vesículas fuertemente controlados por la historia de enfriamiento del derrame. Cada nuevo derrame eruptado pierde calor por convección y radiación en el borde superior y por conducción en el borde inferior en contacto con el sustrato rocoso. La tasa de pérdida de calor es mayor en el borde superior que en el inferior. [Schaefer & Kattenhorn – 2004] Ver Figura 3.4-1

La pérdida de calor se procesa a manera de frentes de enfriamiento o solidificación, que avanzan hacia el interior del derrame y representan una interfase líquido/sólido o un límite entre basalto fracturado y no fracturado. [Long & Wood – 1986 y Schaefer & Kattenhorn – 2004].

La forma de los frentes o superficies isotermales están determinadas por la relación área/espesor de los derrames (idealmente planos y paralelos a los bordes en los derrames de gran extensión) y por la presencia de posibles “perturbaciones” termales como capas vesiculares, fracturas de “inflation”, presencia de agua, etc.. [Schaefer & Kattenhorn – 2004]

Juntas de enfriamiento

El enfriamiento produce “stress” termal el cual causa contracción del derrame produciendo la fracturación de la roca. Las fracturas de enfriamiento típicamente se propagan paralelas al máximo gradiente termal y perpendicular a las isotermas y a los frentes de enfriamiento [Schaefer & Kattenhorn – 2004]

En los derrames basálticos son comunes los patrones de juntas, con importante persistencia lateral, conocidas en la literatura como “colonade” y “entablature”.

Los patrones colonade (o columnar) ocurren generalmente en la parte inferior y superior del derrame y consiste en niveles formado por columnas de basalto bien formadas y poligonales, en general perpendicular a la base. Los patrones de “entablature”, ubicados generalmente en zonas centrales del derrame, están formados por niveles de pequeñas e irregulares

columnas con orientación variable (perpendicular a la base, radiales, etc.). [Long & Wood – 1986]. Ver Figura 4.3-2 / Anexo 4, en el siguiente capítulo.

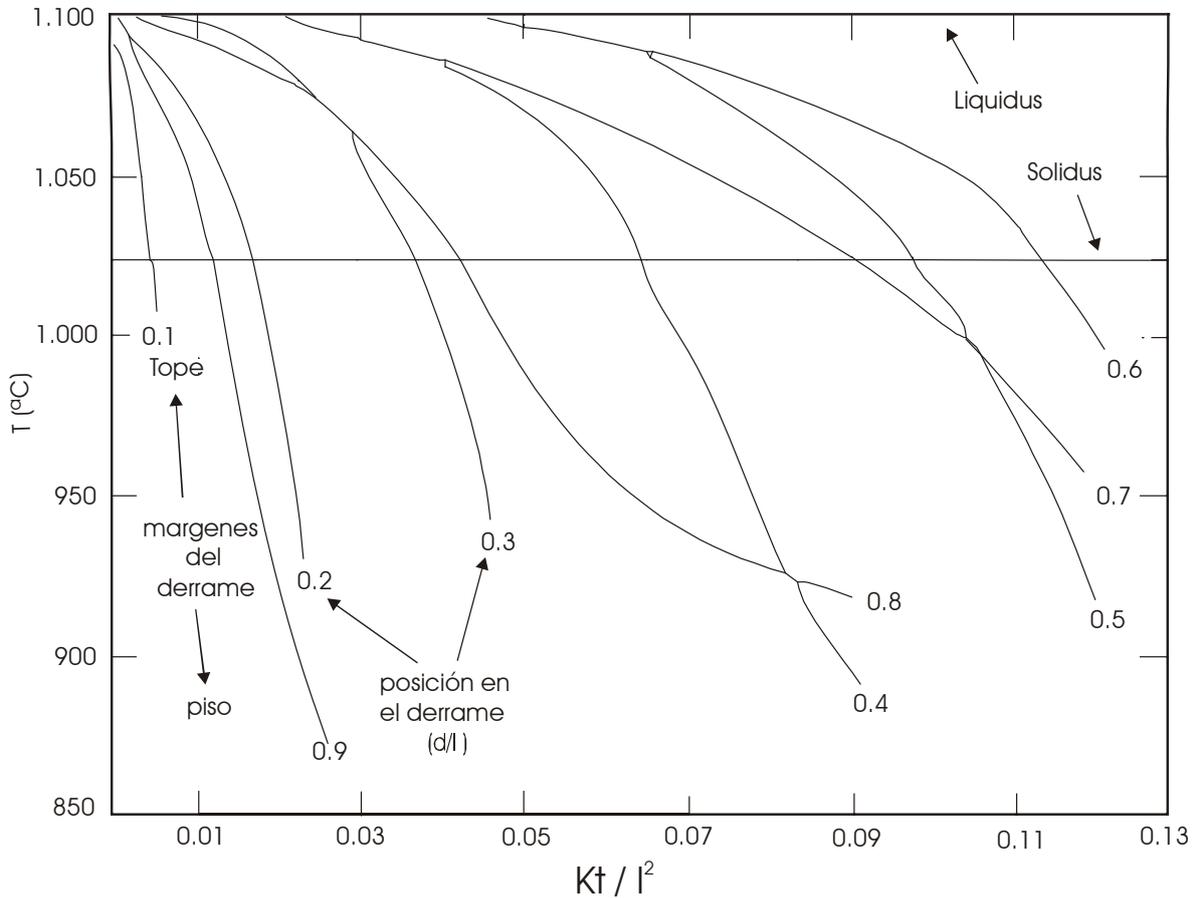


Figura 3.4-1: Evolución teórica de enfriamiento de diferentes profundidades relativas dentro del derrame (ploteo de temperatura vrs. Kt/l^2 tiempo adimensional)
 T =temperatura ($^{\circ}\text{C}$), k = difusidad termal, l = espesor del derrame, d = posición en el derrame medido desde el tope. Fuente Long y Wood - 1986

Vesículas

En forma simple, las vesículas dentro de los derrames se generan cuando burbujas de gas de un fundido silicatado son “atrapadas” por la solidificación del mismo.

El crecimiento de burbujas en el magma es controlado por dos procesos : difusión de gas disuelto en el magma y descompresión de gas dentro de burbujas cuando la presión hidrostática decrece. [Sparks R. - 1978].

La generación y crecimiento de las burbujas es iniciado primariamente cuando se produce la sobresaturación del magma con respecto a los volátiles disueltos, durante la descompresión del magma en ascenso y por cristalización de minerales anhídridos durante la solidificación. [Aubele, J. et al – 1988]

Dado que la difusión de gases dentro del magma no es instantánea, la formación y crecimiento de burbujas puede continuar a una tasa decreciente por un periodo de tiempo posterior a la descompresión del magma, es decir luego que el magma alcanza la superficie. La exsolución de gas puede también ocurrir asociado a procesos de cristalización, incrementando el porcentaje de materiales volátiles en el líquido residual. [Aubele, J. et al – 1988].

La nucleación, crecimiento y ascenso de burbujas se produce hasta que son interceptadas y “atrapadas” por los límites termales inferior y superior que avanzan hacia el interior. Las burbujas que se nuclean temprano ascienden más lejos porque la viscosidad es menor al momento del ascenso. Ver Figura 3.4-2 .

El modelo numérico realizado por Aubele, J. et al – 1988, muestra que la zona transicional de basalto con alta/baja viscosidad, se comporta como una especie de “barrera” o una interfase liquido/sólido deteniendo abruptamente el ascenso de las burbujas. Debido a este comportamiento, las burbujas que ascienden más rápido que el límite de solidificación descendente pueden acumularse y coalescer en gran escala.

La coalescencia de burbujas puede ocurrir como un fenómeno estático o dinámico. La coalescencia estática ocurre en materiales inicialmente muy vesiculares o con alta expansión y se produce por ruptura de la pared de burbujas adyacentes. Por otro lado la coalescencia de burbujas con tasa variables de ascenso y diferente tamaño puede ser visto como un proceso dinámico. [Cashman K. et al. – 1994 y Sahagian D. – 1985]

La nucleación y crecimiento de burbujas debe ser complementado por otros procesos, como la coalescencia, para explicar el máximo tamaño alcanzado por algunas vesículas en los diferentes niveles. [Proust & Fontaine – 2007]

Otro aspecto mencionado en la literatura que puede influir en la estructura intraderrame es el momento de formación de los elementos primarios con respecto a la forma de emplazamiento de la lava :

La distribución de los patrones de vesículas dentro del derrame se pueden generar durante la actuación de fenómenos conocidos como de “inflation”. Este fenómeno refiere al espesamiento del derrame por la entrada de lava fresca entre la corteza superior e inferior ya solidificada y ocurre típicamente en derrames sub-horizontales, que avanzan lentamente. Las zonas de vesículas sin-emplazamiento formados conjuntamente con la ocurrencia del abultamiento (“inflation”) de la lava tendría características diferentes a aquellas zonas de vesículas formados por ascenso de gas en condiciones estáticas, en derrames con rápido emplazamiento en depresiones preexistentes (derrames “ponded”). [Cashman & Kauahikaua - 1997].

ANEXO 3

Provincia Basáltica de Paraná

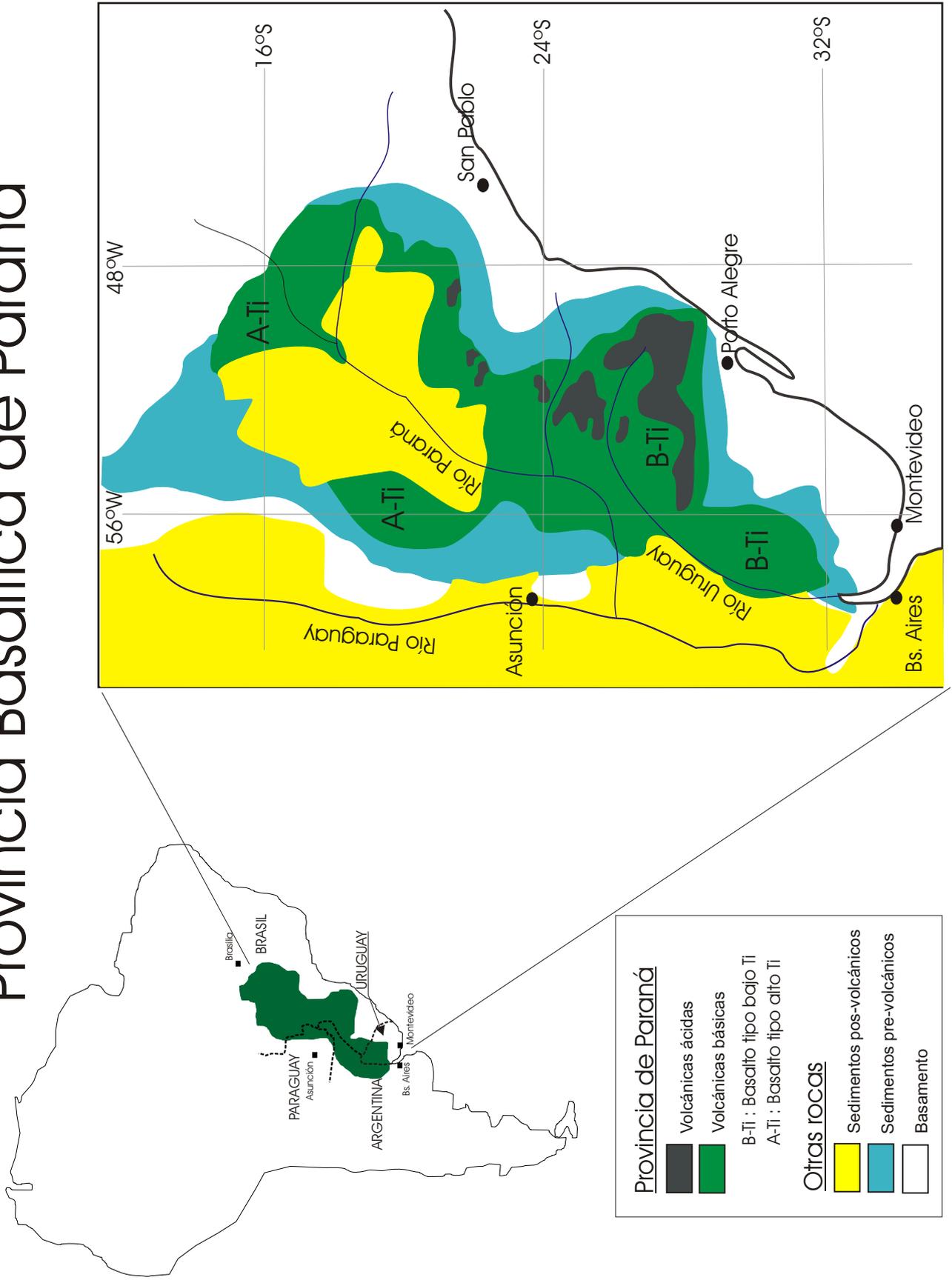


Figura 3.2-1 : Extensión continental y principales unidades de la Provincia Basáltica de Paraná (Modificada de Juchem-1999)

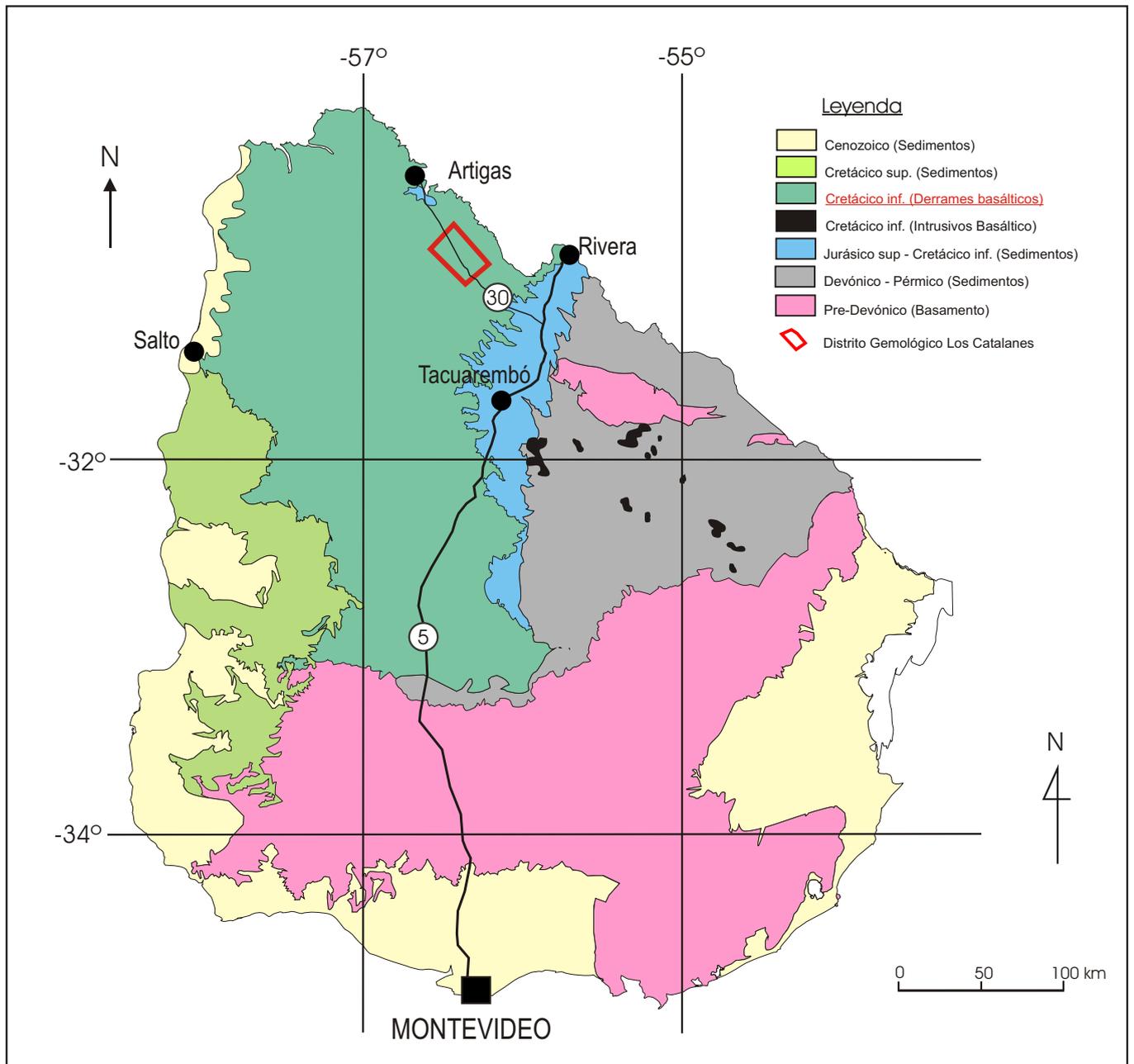


Figura 3.3-1 : Carta geológica simplificada del Uruguay, donde se ve la gran extensión de la F. Arapey, las intrusivas básicas asociadas y el Distrito Gemológico Los Catalanes

4. PROVINCIA GEMOLOGICA ARTIGAS - RIO GRANDE DO SUL

4.1 Generalidades

Los yacimientos de ágatas y amatistas localizados en la mitad norte del estado de Rio Grande do Sul (Brasil) y al E del Departamento de Artigas (Uruguay) pueden agruparse, arbitrariamente, dentro de una gran región minera o provincia gemológica¹. Dicha provincia posiblemente sea la más importante del mundo en términos de reservas, calidad y producción de ágatas y amatistas. Ver Figura 4.1-1 / Anexo 4

Existe una gran similitud entre los depósitos Brasileños y Uruguayos, ambos encuadrados dentro del modelo descriptivo conocido como “geodas rellenas de ágata y amatistas en basaltos”. Estos depósitos comparten muchas características en común (en especial los localizados en la región de Alto Uruguai y Los Catalanes) : la misma unidad geológica hospedera, ubicación y geometría del nivel mineralizado, paragénesis silíceo, estructura interna de derrame portador, etc.

Por otra parte prácticamente toda la información técnica y científica de esta Provincia esta referida a los yacimientos de Rio Grande do Sul.

Es por este motivo que presentaremos en forma resumida las características de los yacimientos Riograndenses, en base a la literatura Brasileira consultada.

La Formación Serra Geral (equivalente Brasileiro de nuestra Formación Arapey) ocupa la mayor parte del norte del estado de Rio Grande do Sul, con una extensión de aproximadamente 175.000 km² (un 50 % del área total del Estado) [Heemann R. - 2005].

Se han registrado un gran número de depósitos de ágatas y amatistas en el estado de Rio Grande, distribuidos en unos 26 municipios [Juchem L. - 1999]. En gran parte del Planalto Sulriograndense es posible localizar ocurrencias de diferentes variedades de sílice [Corrêa T. - 2005]

¹ Se denomina mineral-gema a aquel mineral que por sus propiedades de dureza, brillo, color, transparencia, pureza y rareza se presta para ser usado como adorno personal y ornamentación, de Aquino – 1980.

A pesar de la gran cantidad de ocurrencias de estas gemas, distribuidas por gran parte del norte del Estado de Rio Grande do Sul, actualmente casi toda la producción se concentra en dos zonas :

Distrito Salto do Jacuí : donde se extrae principalmente ágatas y en forma subordinada amatistas, concentrada en los municipios de Salto do Jacuí, Arroio do Tigre, Soledade, Espumoso, Barros Cassal y Sobradinho [Schmitt J. et al. -1991].

Distrito Alto Uruguai : con producción principalmente de amatista y subordinadamente ágata, concentrada principalmente en los municipios de Amatista do Sul, Planalto, Frederico Westphalem, Irai y Rodeio Bonito [Juchem L. - 1999]. Ver Figura 4.1-1 / Anexo 4

4.2 Distrito Salto Do Jacui

Si bien esta región abarca varios municipios, la producción actualmente esta centralizada en el municipio Salto do Jacuí, abarcando una área de 250 km², donde se concentran los mayores depósitos de ágata de Brasil, y en particular el ágata “Úmbu” que posee un color azul oscuro homogéneo, siendo muy apreciada para su aptitud para el teñido [Heemann R. - 2005].

La región de Salto do Jacuí esta constituida por derrames basálticos a dacíticos pertenecientes a la Formación Serra Geral, que se pueden agrupar en 3 asociaciones de rocas volcánicas, separadas entre si por areniscas intertrapp de distribución regional [Heemann R. - 2005]. Ver Figura 4.2-1 A

- Grupo R-1 : Basalto Intergranular (base)
- Grupo R-2 : Asociación de basaltos y dacitas glomeroporfiricas
- Grupo R-3 . Dacita holocristalina (tope)

Las principales ocurrencias y “garimpos” de ágata en el distrito minero de Salto do Jacuí están ubicados en el Grupo Regional R-2 (basalto y dacitas glomeroporfiricos) apoyado sobre un intertrapp de areniscas a cota 180 m.

Este grupo esta formado por 6 unidades volcánicas principales, que de base a tope son [Heemann R. - 2005]. (Ver Figura 4.2-1 B) :

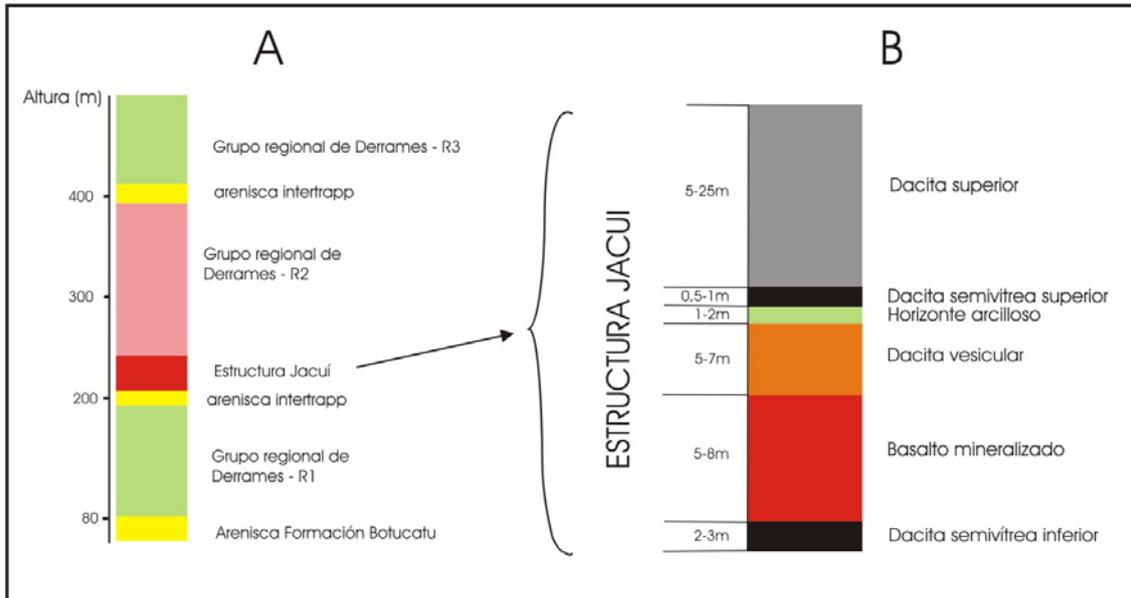


Figura 4.2-1 : Perfil geológico regional de la zona de Salto de Jacuí (A) y columna estratigráfica en el distrito minero Salto do Jacuí(B).
Fuente Heemann R.- 2005

1. Dacita semi-vítrea inferior : apoyada sobre un intertrapp de arenisca, está integrada por 1 a 2 m de un vidrio volcánico de color negro, con enclaves de arenisca y mineralizado con geodas de ágatas en general de tamaño reducido.

2. Basalto mineralizado : en contacto irregular con la unidad anterior, ocurre un basalto vesicular de color gris claro, de textura hipoalinalina, muy alterado, de espesor medio aflorante de 5 a 6 m. Dentro del basalto ocurren enclaves y diques de arenisca, así como enclaves de la dacita inferior.

Las geodas presentan tamaños de entre 10 a 15 cm, pudiendo alcanzar los 90 cm de diámetro, con forma predominante semi-esférica con base plana. El relleno más común es silíceo formado por calcedonia, ágata, ónice y cuarzo incoloro.

3. Dacita vesicular : dacita marrón rojiza, con vesículas de diámetro entre 0,5 a 1 cm de forma elíptica y orientadas, con relleno de cuarzo, arcilla y calcita.

Dentro de este nivel, de espesor medio entre 4-5 m, pueden ocurrir grandes bloques de arenisca, elípticos, de 3m de alto por 6 m de largo.

4. Horizonte arcilloso : arcilla verde a amarilla, con geometría tabular, de espesor entre 0,5 a 2,0 m, formado por un material muy friable.

5. Dacita semi-vítrea superior : en algunos frentes ocurre entre la dacita vesicular y la dacita glomeroporfírica un sill dacítico de geometría tabular, de escasa continuidad y espesor entre 1 a 2 m.

6. Dacita glomeroporfírica superior : unidad del tope de la secuencia del distrito minero, formada por dacitas y en forma subordinada por basaltos, de color gris claro a marrón, con fracturación horizontal y vertical con espaciamiento centimétrico a decimétrico

La explotación se realiza a cielo abierto semimecanizada, cortando las laderas de cerros y a través de galerías de exploración-extracción de profundidad promedio de unos 40 m.

Las galerías abiertas en el basalto mineralizado tienen tenores aproximados, que varían entre 50 a 60 kg/m³ de geodas. Con relación al tenor total de las geodas producidas, 50 al 60 % son formadas por cristales de cuarzo y pequeñas geodas y un máximo de 20 % de la producción total está formada por geodas rellenas de ágata tipo umbu (material de primera calidad).

[Heemann R. - 2005]

La paragénesis mineral que ocurren en basalto portador según Heemann R. – 2005 es :

- Geodas rellenas de ágata tipo Umbu
- Geodas con arenisca silicificada
- Geoda de material vítreo
- Geoda de material vítreo en la base + ágata
- Geoda de ágata + vidrio + onix (base) + cuarzo hialino (tope)
- Geoda de ágata con listas (base) + cuarzo hialino (tope)
- Geoda de ágata (tope) + bandas de ágata y material vítreo (base)

4.3 Distrito de Alto Uruguai

La región de Alto Uruguai (o Alto Medio Uruguai como también es conocida) se localiza al N del estado de Rio Grande do Sul, próximo al límite con el estado de Santa Catarina, en los municipios de Amatistas do Sul, Planalto, Iraí, Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Cristal do Sul, Gramado dos Loureiros e Trinidad do Sul. En esta zona, en un área de 22 km de diámetro, hay decenas de frentes de trabajo donde la amatista es extraída en labores subterráneas. En el 2000 había 374 garimpos de los cuales 315 estaban activos y más del 50 % en el municipio de Amatista do Sul [Branco P y Alcântara C. - 2002].

Esta región es la mayor productora de amatistas de Brasil y posiblemente una de las más importantes a nivel mundial

La región está inserta en la secuencia volcánica de la Formación Serra Geral, donde han sido identificados doce derrames basálticos aflorantes entre cotas altimétricas 210 y 580 m, con espesores individuales que varían entre 15 a 50 m y más de 5 derrames identificados en sub-superficie, lo que daría un total de la pila volcánica de 17 coladas para la región [Juchem L. - 1999].

Los derrames son bastante horizontales, el contacto entre ellos es frecuentemente marcado por areniscas de espesor que varía desde 10-30 cm. hasta 3-4 m. También es frecuente la presencia de brechas integradas por basalto vesicular y areniscas marcando el límite de las coladas [Gomes - 1996 citada por Juchem L. - 1999].

A partir de la estructura interna de las rocas volcánicas se pueden diferenciar para la región, dos grupos de derrames, denominados tipo I y II.

Derrames tipo I : tienen menor espesor, entre 15 a 35 m., colores grises a negros y presentando desde la base al tope : nivel basal vesicular y poco potente, nivel central macizo con pocas fracturas e irregulares y con frecuentes geodas en su parte superior, seguido de un nivel vesicular de tope. Dentro de la estratigrafía local los derrames **2, 6, 7, 8, 9** y 10 pertenecen a este tipo, (los derrames en negrita presentan además geodas con amatistas).

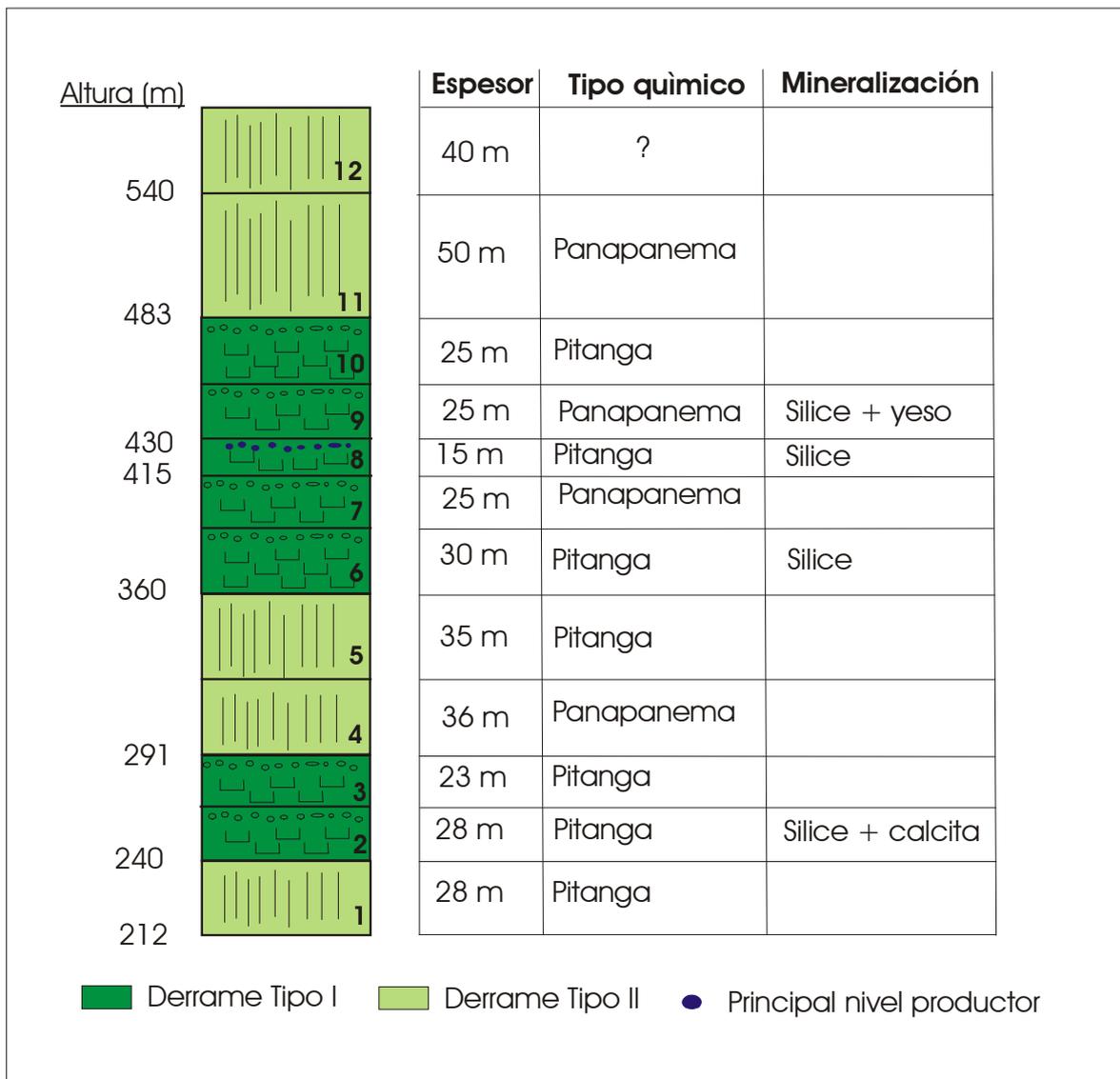


Figura 4.3-1 : Secuencia de derrames de la región de Alto Uruguay
 Fuente : Juchem -1999 y Fischer- 2004

Derrames tipo II : tienen mayor espesor, entre 30 a 50 m., color marrón rojizo y presentando desde la base al tope la siguiente estructura intraderrame :

- Nivel basal vesicular de espesor entre 0,4 a 1,0 m
- Zona central maciza, formando la mayor parte del derrame y presentando 2 tipos de padrones de fracturación :
 - Tanto en la parte inferior como superior de la zona central ocurre un nivel columnar, formado por fracturas verticales, generando caras planas y prismas regulares de sección pentagonal o hexagonales. El espesor integrado es de hasta 27 m.

- Entre medio de los niveles columnares se desarrolla un nivel de “entablature” formado por fracturas irregulares que generan prismas angostos, con caras curvas y secciones tetragonales. El espesor varía entre 25 a 30 m.

- Nivel vesicular de tope de hasta 10 m de potencia.

Dentro de la estratigrafía local los derrames 1, 4, 5, 11 y 12 pertenecen a este tipo. [Scopel M. et al. 1998 y Juchem L.- 1999] Ver Figura 4.3-1 y 2 / Anexo 4.

Además de las diferencias estructurales entre los derrames tipo I y II existen diferencias petrográficas. Los derrames tipo I presentan cristales tabulares a ripimorfos de labradorita, asociado a augita, olivino, magnetita, titano-magnetita e ilmenita con una matriz más ácida donde puede aparecer apatito. Las texturas predominantes son intersectorial e intergranular y más raro textura traquíticas. Una de las características marcantes de estos derrames es la presencia de minerales de alteración, especialmente arcillo-minerales de tipo celadonita, producto de alteración de los minerales máficos del basalto apareciendo en los niveles vesiculares asociados a las geodas con amatista.

Los derrames de tipo II están formados por labradorita, augita, escaso olivino, magnetita, titano-magnetita e ilmenita con una matriz macrocristalina de cuarzo, feldespato alcalino, arcillo-minerales, apatito y opacos [Juchem L. - 1999].

En detalle la estructura intraderrame de las coladas portadoras en el distrito minero de Alto Uruguai es la siguiente [Juchem L. - 1999] (ver Figura 4.3-2 / Anexo 4) :

Nivel basal : de espesor máximo de 0,5 m, altamente vesicular y con vesículas de tamaño entre 0,05 a 2 mm.

Nivel central : de espesor variable entre 11 a 29 m, formado por basalto masivo, de color gris, con pocas fracturas espaciadas originando grandes bloques. En la parte superior se localiza el nivel mineralizado, con espesor de 2 a 3 m., donde se instalan los frentes de laboreo.

Este nivel central en el derrame São Gabriel (colada portadora principal de la región) representa cerca del 70 al 90 % del espesor total de la colada.

Presenta además vesículas dispersas en todo el nivel, con tamaño de entre 0,1 a 1,0 mm, redondeadas, rellenas de arcillo-minerales, calcedonia, clorita, serpentina y óxidos de Fe. Las discontinuidades primarias son predominantemente verticales a sub-verticales con espaciamiento medio de entre 0,5 a 2,0 m [Corrêa T. - 1995].

Nivel superior : formado por basalto con fracturas orientadas en diferentes direcciones, generando bloques irregulares decimétricos. Este nivel presenta espesores medios de 0,5 a 1,0 m, aunque puede estar ausente. Por encima se localiza un nivel muy alterado, con un sistema de fracturación horizontal muy marcado, de espesor variable entre 0,5 a 1,0 m. Este nivel superior puede presentar vesículas espaciadas, mili a centimétricas.

Este nivel, en el derrame São Gabriel, es denominado horizonte transicional afanítico por parte de Corrêa T. – 1995. Esta autora define este horizonte como una interfase entre el nivel de tope y el nivel masivo mineralizado. Puede presentar diferentes aspectos, dependiendo del grado de cristalinidad de los minerales, presencia o no de alteración y arreglo estructural de las discontinuidades. Texturalmente este horizonte presenta pequeñas diferencias con el nivel masivo inferior, marcadas casi siempre por presentar tamaño de grano menor y a veces presentar vidrio desvitrificado marrón oscuro a negro y alterado para arcillo-minerales [Corrêa T. - 1995].

Según Szubert et al. – 1979 (Citado por Corrêa T. – 1995) este nivel representa una superficie de dislocamiento entre la parte superior del derrame solidificado precozmente y el núcleo del derrame con mayor temperatura y fluidez.

Nivel de tope : formado por basalto con estructura vesicular, con vacuolas mili a centimétricas, vacías o tapizadas de calcedonia, cuarzo, calcita, arcillo-minerales y a veces zeolitas. El espesor varía entre 1 a 5 m.

Asociado al nivel de tope puede ocurrir un nivel de arenisca y/o brecha, en general de forma irregular y discontinuo, frecuentemente lenticular.

La brecha esta formada por fragmentos irregulares de basalto o arenisca cementadas por material silíceo (arenisca "cosida" o mezcla de lava y arena), por roca volcánica o por una mezcla de ambas. El espesor de esta brecha puede alcanzar los 2 m.

Los niveles de arenisca son en general finos (0,5 a 2 m. de espesor) y lateralmente discontinuos. Preservan las estructuras sedimentarias primarias en las zonas más potentes de los niveles sedimentarios y fuerte silicificación en las zonas menos potentes [Corrêa T. - 1995].

Los derrames portadores están formados por basaltos afaníticos a afíricos, con colores que varían de gris oscuro a claro, a veces con tonalidades verdosas.

La textura en general holocristalina seriada a porfírica, pudiendo ser intergranular, intersecal y a veces localmente glomeroporfírica y traquítica [Juchem L. - 1999].

Presenta fenocristales (raros) y/o microfenocristales de plagioclasa, piroxeno, olivino y opacos en una matriz de la misma composición. Estos minerales están envueltos por una mesostasis de K-feldespatos, arcillo-minerales y localmente cuarzo [Scopel et al. - 1998].

La plagioclasa y el piroxeno sumado llega a más del 80 % en volumen de la roca [Corrêa T. - 1995].

La plagioclasa (labradorita y andesina) aparece como fenocristales, microfenocristales subeudricos y como cristales ripiformes en la matriz, con tamaño de 0,1 a 1,5 mm, pudiendo alcanzar más de 2,0 mm en los fenocristales. [Scopel et al. - 1998].

El volumen modal varía entre 2 a 15 % de plagioclasa como micro y fenocristales y entre 60 a 77 % de plagioclasa en la matriz [Corrêa T. - 1995].

El piroxeno sigue a la plagioclasa en abundancia, estando como micro o fenocristal, así como en la matriz. Se trata principalmente de augita, con algo de pigeonita. Generalmente ocurre como cristales prismáticos o anedricos de tamaño entre 0,05 a 1,5 mm. El contenido modal varía entre 1 a 5 % en volumen como micro y fenocristales y entre 20 a 50 % en la matriz [Corrêa T. - 1995].

Ocurren raros cristales de olivino (hortonolita), con formas variadas, con borde de reacción en contacto con la mesostasis y fracturas intramineral rellenas de opacos y arcillo-minerales.

Los opacos (magnetita, titano-magnetita e ilmenita) son los accesorios más importantes, estando como microfenocristales, en la matriz y /o asociado a la mesostasis, en forma de granos anaedricos, subedricos o como diminutas esferas

El K-feldspato ocurre como masas anaedricas, como pequeños cristales euedricos y sub-euedricos en la mesostasis. Cuarzo y apatito puede aparecer en la mesostasis.

Los minerales secundarios ocurren sustituyendo parcial o totalmente a los minerales primarios y a la mesostasis y como relleno de vesículas. Se trata principalmente de arcillo-minerales como saponita y celadonita. [Fischer A. - 2004].

Desde el punto de vista geoquímico ambos tipos de derrames (I y II) están integrados por basaltos toleíticos con altos contenidos en titanio (ATi), diferenciándose 2 grupos : derrames con valores de Ti entre 3,28 a 3,99 % y derrames con valores de este elemento químico entre 1,85 a 2,65 %.

En función de la clasificación geoquímica propuesta por Peate et al. – 1992, todos los derrames del distrito de Alto Uruguai caen dentro del grupo Paranapanema o Pitanga [Scopel M. et al. 1998]. Ver tabla 4.3-1

	Derrame 2	Derrame 6	Derrame 8	Derrame 9
TiO ₂	3,49 a 3,81	3,30 a 3,73	3,52 a 3,75	1,85 a 2,28
P ₂ O ₅	0,43 a 0,57	0,49 a 0,56	0,56 a 0,57	0,22 a 0,30
SiO ₂	49,21 a 49,87	47,56 a 50,95	47,19 a 50,31	48,23 a 50,54
Fe ₂ O ₃	14,74 a 15,98	14,12 a 15,74	14,38 a 15,18	12,96 a 14,68
Sr	406 a 464	409 a 482	406 a 431	329 a 437
Ba	400 a 647	378 a 582	498 a 569	305 a 367
Zr	220 a 232	231 a 276	227 a 238	130 a 152
Sr/Y	9,44 a 12,89	10,22 a 12,70	111 a 12	10 a 17
Ba / Y	11,76 a 15,04	10,21 a 13,47	13 a 15	10 a 14
Zr/Y	5,32 a 6,47	6,24 a 7,08	6	5
Ti / Y	487 a 672	495 a 573	558 a 608	427 a 426
Ti / Zr	91 a 104	78 a 91	91 a 96	86 a 96
Tipo	Pitanga			Paranapanema

Tabla 4.3-1 : Composición química de los derrames portadores de la región de Alto Uruguai y clasificación geoquímica según Peate et al. – 1992. Fuente Scopel et al. – 1998 (mayores en % y trazas en ppm).

Dentro de la secuencia volcánica de la región del Alto Uruguai ocurren 3 horizontes mineralizados [Amorim V. et. al. – 2005 y Branco P. y Alcântara Gil C.- 2002] :

1. Horizonte mineralizado inferior ubicado en la cota altimétrica de aproximadamente 240m. Con geodas de amatistas de baja calidad, pero con buenos ejemplares de geodas con calcita.
2. Horizonte mineralizado intermedio ubicado entre cotas altimétricas 320-330 m. Fue explotado durante algún tiempo.
3. Horizonte mineralizado superior se ubica entre cotas altimétricas 400 a 420 m. y ha sido explotado en los últimos 50 a 60 años, y en forma subterránea desde aproximadamente 30-35 años. Presenta geodas de hasta 3000 kg y largo de 3 m, siendo común piezas de 200 a 300 kg.

Las geodas aparecen siempre próximas al tope del nivel central con dimensiones decimétricas a métricas, siendo común las geodas de algunos

cientos de kilos y 1 a 2 m de largo, y en ocasiones pueden alcanzar 3 m de largo por 0,5 a 1 m de diámetro y tener más de 1000 kg de peso. La forma más común de las geodas es cilíndrica, con disposición vertical a subvertical dentro del depósito y con la parte superior más fina que la base que aparece más ancha y plana [Juchem L. – 1999].

En el horizonte mineralizado de cota altimétrica \pm 410 m ocurren geodas verticalizadas conectadas a venas localizadas en fracturas. También se observan geodas horizontalizadas con la misma paragénesis de relleno que las geodas verticales y que están usualmente ligadas a venas hospedadas en fracturas. Las venas presentan la misma paragénesis silíceas, calcedonia + ágata \pm cuarzo \pm amatista, pero también pueden estar formadas por zonas tubulares altamente vesiculadas e hidrotermalizadas. Tanto las venas como las zonas tubulares vesiculadas eran originariamente fracturas sub-horizontales o verticales orientadas preferentemente NNW y ENE. Próximo a la conexión vena-geoda es común observar brechas hidráulicas, con fragmentos de basalto y cemento de ágata+calcita o ágata+calcedonia [Amorim V. et. al. – 2005].

Las geodas tienen una distribución errática dentro del nivel mineralizado, pudiendo ser abundante en una determinada zona y rara o ausente en otra. También es muy irregular la mineralización dentro de la geoda, pudiendo aparecer en el mismo frente geodas con amatista de excelente calidad junto con geodas con amatista de baja calidad o ausente. Muchas veces la geoda se presenta vacía o tapizada por una fina capa de microcristales de cuarzo [Juchem L. - 1999].

La concentración de clusters de geodas es variable lateralmente y alterna zonas con alta densidad de geodas y zonas estériles, que están distribuidas según fajas alargadas y discontinuas.

La cantidad de nódulos de calcedonia o ágata es proporcionalmente menor a la cantidad de geodas con amatista. [Corrêa T. - 1995].

La mayoría de las geodas de esta región presenta la siguiente secuencia de mineralización silicosa [Juchem L. 1999]. (Ver figura 4.3-3) :

- La primera fase esta formada por una capa mili a centimétrica de calcedonia o ágata (Ag).

- Luego ocurren masas de cuarzo intercrecido y mal cristalizado, muy fracturados, incoloro a lechoso en paquetes de espesor centimétricos. (Qz)
- Al final ocurre la amatista, en general como una gradación progresiva del cuarzo incoloro para cuarzo violeta, con tonalidades cada vez más intensa hacia las puntas del cristal. (Am)

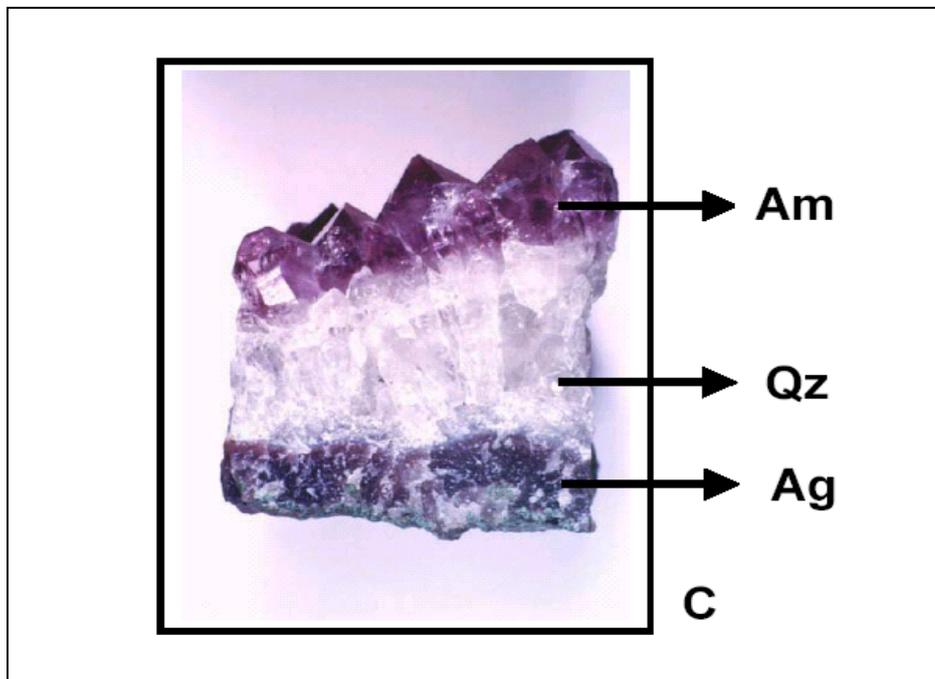


Figura 4.3-3 : Secuencia de cristalización silicosa más común en las geodas de la región de Alto Uruguay. (Tomado de Juchem – 1999).

La parte más externa de las geodas está en general revestida por una fina capa de arcilla verde a verde azulada identificada como celadonita e interpretada como producto de alteración hidrotermal del basalto encajante. Además ocurren en forma subordinada otros minerales, principalmente como fases tardías crecidos sobre la amatista. El más abundante es la calicita y en menor cantidad yeso hialino (variedad selenita), barita, cuarzo rosado y zeolita.

Además de la secuencia de minerales "clásica" pueden ocurrir varias otras asociaciones de minerales dentro de las geodas. Algunas de dichas secuencias representan en verdad diferentes pulsos de mineralización, que ocurren en diferentes momentos, durante el proceso de cristalización del mineral en el interior de la geoda [Amorim V. et. al. – 2005]. Ver Cuadro 4.3-1 y 2.

Fueron reconocidos 4 diferentes pulsos de mineralización en las geodas. Dichos pulsos pueden ser reconocidos por la superposición de una secuencia de cristalización ágata /cuarzo incoloro /amatista, la cual constituye los minerales de la paragénisis principal. La paragénisis de cada pulso es completada por un grupo de minerales tardíos (calcita, yeso, barita) presentes en solo algunos pulsos, mostrando formas distintas en cada pulso. La calcita, por ejemplo, esta presente en cualquiera de los cuatro pulsos identificados, pudiendo aparecer como fase precoz (junto a calcedonia y ágata), como fase del dominio principal (mezclada con los cristales de ágata y cuarzo) o como fase tardía (cristales bien formados crecidos sobre la amatista). [Amorin V. et. al. – 2005].

Se identificaron algunas características típicas de cada pulso de mineralización como [Amorin V. et. al. – 2005]:

- La calcita muestra diferentes colores y hábitos en los distintos pulsos.
- Las inclusiones aciculares de goethita en la amatista solo fueron identificadas en el tercer pulso
- El yeso y la barita solo ocurren como mineral tardío en el cuarto pulso.

N°	Sucesión mineral en las geodas
1	Agata
2	Agata - Cuarzo fino
3	Agata - Cuarzo incoloro
4	Agata- Cuarzo incoloro – Agata - Cuarzo incoloro
5	Agata – Cuarzo incoloro – Calcita
6	Agata – Cuarzo fino – Calcita
7	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista
8	Agata – Cuarzo incoloro - Cuarzo fino
9	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista
10	Agata – Cuarzo incoloro - Amatista
11	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista - Agata – Cuarzo incoloro - Amatista
12	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista – Calcita
13	Agata – Cuarzo incoloro – Calcita – Amatista
14	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista – Calcita – Cuarzo fino
15	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista – Calcita recubierta por Cuarzo fino
16	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista y cuarzo rosa
17	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista cuarzo rosa y Calcita
18	Agata–Cuarzo incoloro–Amatista–Calcita – moldes de anidrita (?) – yeso
19	Agata – Cuarzo incoloro – Calcita - moldes de anidrita (?) – yeso
20	Agata – Cuarzo incoloro – Calcita y moldes de anidrita (?)
21	Agata – Cuarzo incoloro – Amatista – Calcita, yeso y barita
22	Agata – Cuarzo incoloro – Calcita – barita

Cuadro 4.3-1 : Diferentes asociaciones de minerales encontradas en las geodas de la región de Alto Uruguay (Amorin V. et al – 2005)

MINERAL	Pulso 1			Pulso 3			Pulso 3			Pulso 4		
	Pre.	Pri.	Tar.									
Celadonita	▶			▶			▶			▶		
Pirita	▶											
Agata		▶			▶			▶			▶	
Cuarzo hialino		▶			▶			▶			▶	
Amatista			▶			▶			▶			▶
Calcita	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶
Cuarzo citrino									▶			
Cuarzo rosa									▶			▶
Goethita									▶			
Yeso												▶
Pre. : precoz / Pri. : primario / Tar. : tardío												

Cuadro 4.3-2 : Paragénesis mineral y pulsos de mineralización encontrados en distintas geodas de la región de Alto Uruguay (Amorin V. et al. – 2005)

4.4 Distrito Gemológico Los Catalanes

Del lado uruguayo también son conocidas muchas manifestaciones de ágata y amatista, en especial en los departamentos de Artigas y Salto. Pero solo en el NE de Artigas se han localizado, hasta el presente, yacimientos explotables. En la actualidad toda la actividad minera se concentra en una región de 500 km² , localizada en la cuenca del arroyo Catalán Grande, a unos 50 Km. al SE de la ciudad de Artigas. Esta región minera, denominada informalmente en este trabajo “Distrito Gemológico Los Catalanes” se describirá y analizara en detalle en los siguientes capítulos.

ANEXO 4

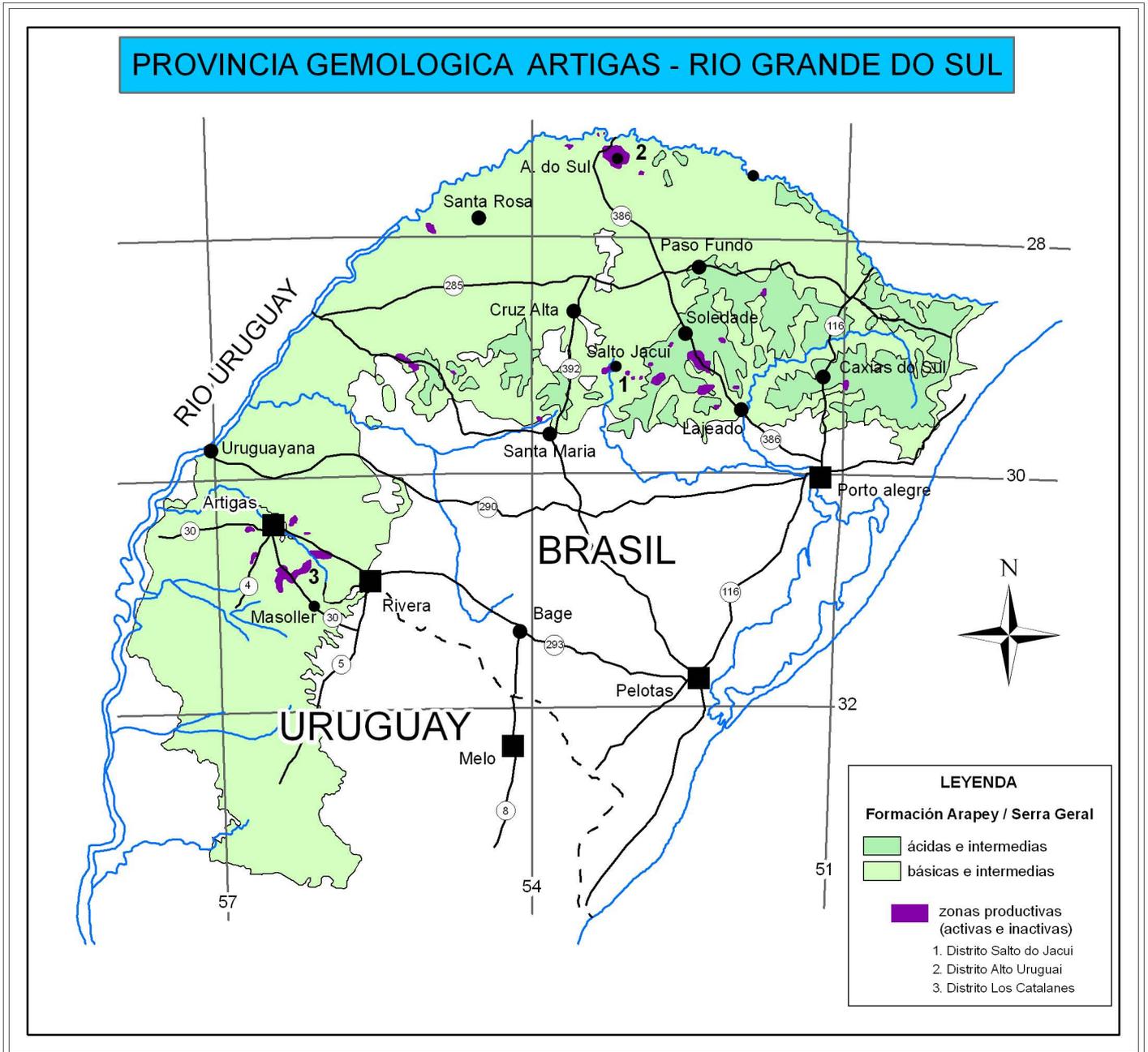


Figura 4.1-1 : Zonas productoras de ágatas y amatistas (activas e inactivas) y los 3 mayores distritos mineros en el N de Uruguay y N del Estado do Rio Grande do Sul (Brasil).
 Fondo geológico : derrames de la Provincia Basáltica de Paraná
 (Fuente : Branco&Alcântara-2002 y este trabajo)

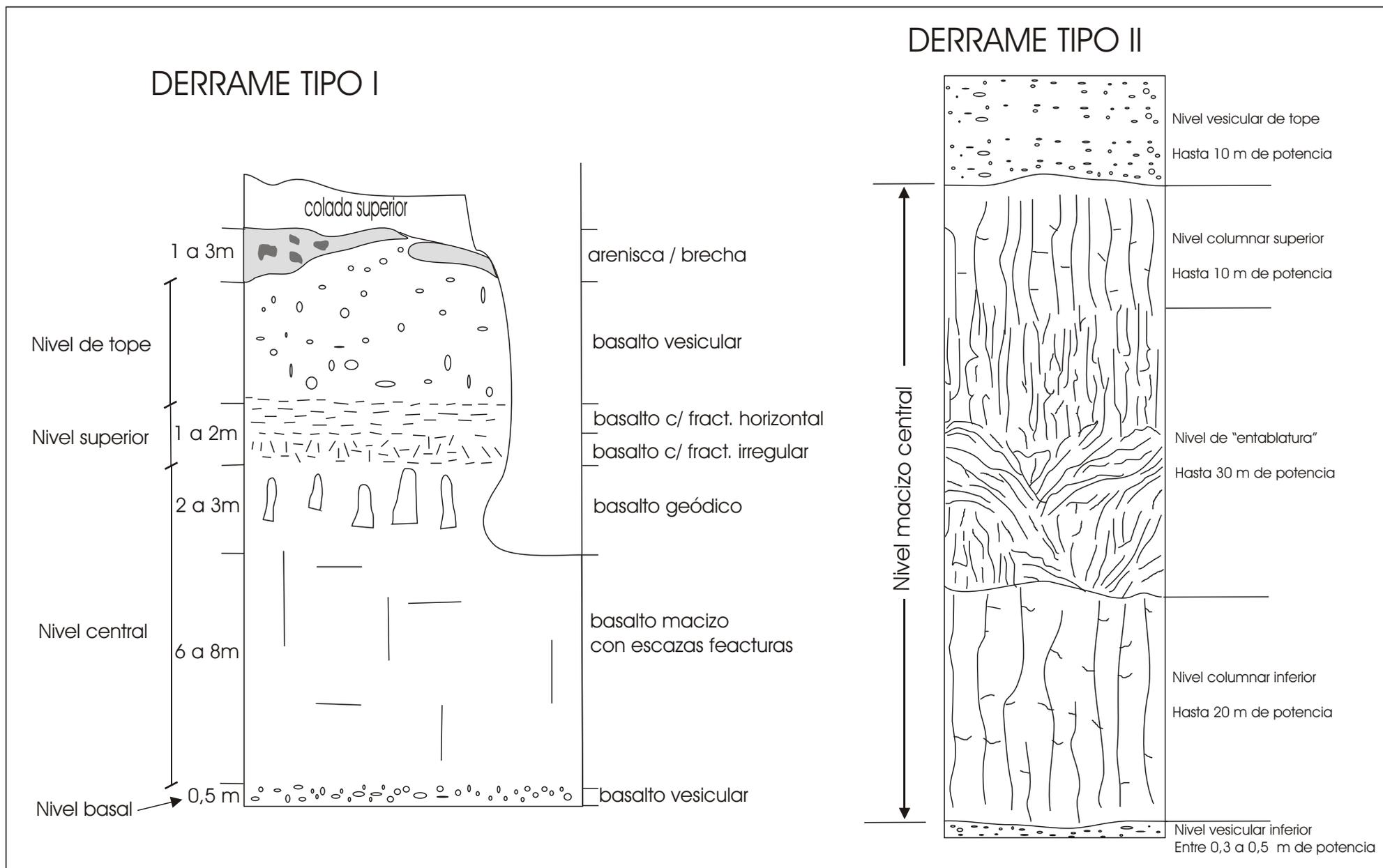


Figura 4.3-2 : Perfil esquemático de los derrames Tipo I y II de la región de Alto Uruguayi. (perfil Tipo I tomado de Juchem -1999 y perfil Tipo II en base a datos de Scopel M. et al. 1998)

5. ASPECTOS MINERALOGICOS DE LAS AGATAS Y AMATISTAS

5.1 Minerales Del Grupo de la Sílice

5.1.1 GENERALIDADES

Los minerales del grupo de la sílice (MGS) forma parte de la familia de los silicatos (más precisamente al grupo de los Tectosilicatos) que tienen como característica unificante el presentar un tetraedro como unidad básica. Cada tetraedro consta de un átomo de silicio en su centro y un átomo de oxígeno en cada vértice $[\text{SiO}_4]^{4-}$. El enlace Si-O es de tipo mixto, covalente-iónico, con una distancia media entre los átomos de 1,61 Å.

En los MGS los tetraedros se unen entre si por los vértices, de tal manera que cada oxígeno es compartido con los tetraedros vecinos. Como resultado se forma una red tridimensional, compacta, neutra y de composición unitaria $[\text{SiO}_4]^0$. En función de esto el cuarzo no admite la entrada de gran cantidad de otros elementos químicos. Por lo que su composición química natural se aproxima mucho a la composición teórico : Si = 46,7 %, O = 53,3 %.

Las principales impurezas son Al, Fe, Na, H, K, Li, Mn, y Ti, las cuales suelen ocurrir con valores menores al 1 %. Además puede ocurrir, en el orden de ppm a ppb, una gran variedad de otros elementos como Ag, Ca, Cr, Cu, Mg, Ni, Sn, Co, Zn, Cd, Sb, Mo, Cb, Ta, Rb, Ge, Ga, Tl, Sc, Cs y Tierras Raras [Juchem - 1999].

Dichas impurezas pueden encontrarse dentro de la estructura cristalina del cuarzo en dos sitios :

- Sitios intersticiales : los tetraedros de silicio forman en el cuarzo arreglos helicoidales en torno al eje ternario, generando cadenas de Si-O en espiral. Estas cadenas producen canales estructurales paralelos al eje "c". Existen también canales estructurales a lo largo de los ejes cristalográficos "a₁", "a₂" y "a₃". En estos canales se alojan gran parte de las impurezas químicas presentes en el cuarzo [Juchem L.-2004]. Ver Figura 5.1-1.
- Sitios sustitucionales : algunos átomos de Sí, ubicados en posición tetraédrica, pueden ser sustituidos por ciertos elementos químicos con radio iónico similar. Es común que el Si^{+4} sea sustituido por elementos con valencia +3 (como el Al, Fe y Ti), lo que provoca un desbalance de cargas,

que es compensado por la entrada de iones monovalentes en sitios intersticiales como el Na^+ , Li^+ o H^+ .

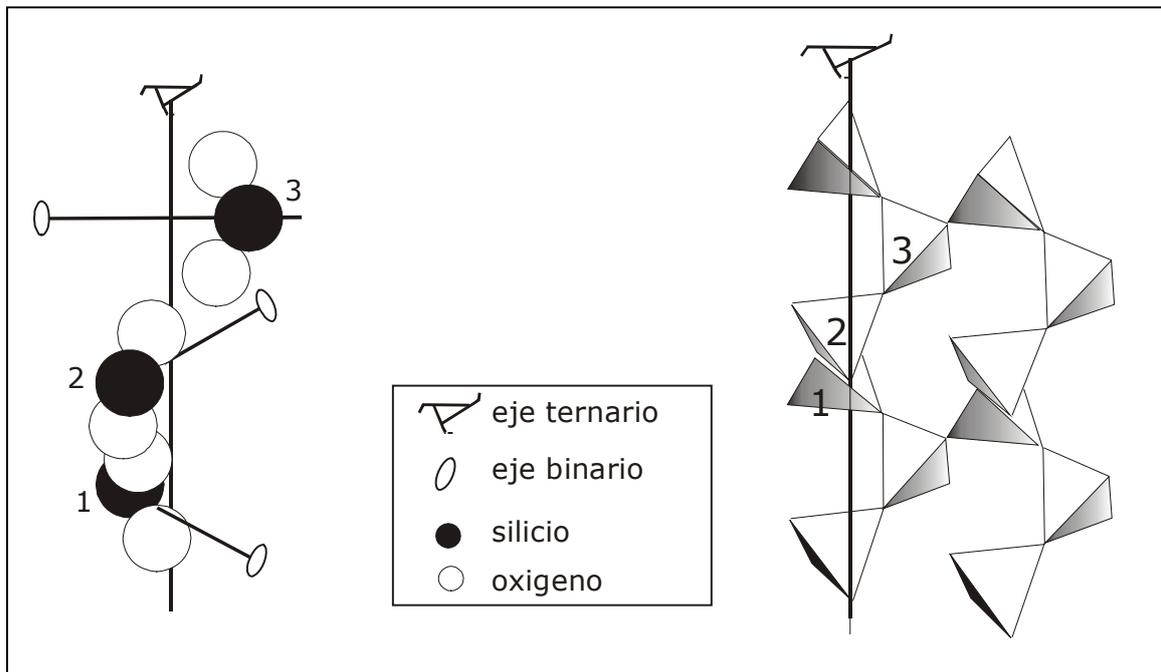


Figura 5.1-1 : A la izquierda disposición helicoidal del silicio y el oxígeno en torno al eje ternario. A la derecha arreglo de los tetraedros Si-O en torno al eje ternario.

Otro tipo de impurezas que pueden estar presentes en los cristales de cuarzo son las denominadas inclusiones : sólidas y fluidas.

Las inclusiones sólidas son minerales dentro del cristal de cuarzo, de tamaño variable, que puede ir desde individuos o agregados microscópicos hasta visibles a simple vista. Algunos de los minerales comunes que aparecen dentro del cuarzo como inclusiones sólidas son : goethita, hematita, magnetita, calcedonia, calcita, rutilo, turmalina, actinolita, anastasa, clorita, epidoto, fluorita, granate, lepidocrosita, limonita, rutilo, pirita, etc.

Las inclusiones fluidas son líquidos y gases atrapados en cavidades dentro del mineral, de composición variada como : fluidos acuosos con proporción variable de sales, vapor de agua, CO_2 , cloruros, etc.

Algunas de estas inclusiones pueden originarse a partir del fluido mineralizante, con lo que a través del análisis de microtermometría puede estimarse la temperatura de cristalización del mineral hospedero.

5.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES DEL GRUPO DE LA SÍLICE

En función de diversos criterios se pueden agrupar a los MGS básicamente de 3 formas diferentes :

- A. Arreglo estructural : polimorfos
- B. Grado de cristalinidad : micro y macrocristales
- C. Descriptivo : Color, hábito, textura, etc.

A. Arreglo Estructural : A pesar de tener una composición simple (SiO_2), los MGS pueden presentar diferentes “arreglos” iónicos entre el silicio y el oxígeno, generando diversas estructuras cristalinas. Dichos arreglos estructurales conocidos como polimorfos de la sílice, están relacionados con las condiciones de formación. En este sentido se pueden distinguir dos tipos : Polimorfos de Alta Presión (Coesita y Stishovita) y polimorfos de Baja Presión (Cuarzo, Cristobalita y Tridimita). A su vez los polimorfos de baja presión pueden presentar más de un tipo de estructura cristalina, con arreglo atómico más estable en función de la temperatura de formación. Es así que todos los polimorfos de baja presión presentan fases de baja (α) y alta (β) temperatura

		MINERAL	SIMETRIA	DENSIDAD (g / cm ³)	INDICE DE REFRACCION
PRESION	BAJA	Cuarzo α	Hexagonal(Trigonal)	2,65	1,55
		Cuarzo β	Hexagonal	2,53	1,54
		Tridimita α	Monoclínico	2,26	1,47
		Tridimita β	Hexagonal	2,22	1,47
		Cristobalita α	Tetragonal	2,32	1,48
		Cristobalita β	Isométrica	2,20	1,48
	ALTA	Cosita	Monoclínico	3,01	1,59
		Stishovita	Tetragonal	4,35	1,81

Tabla 5.1-1 : Características de algunos polimorfos de la sílice

B. Grado de Cristalinidad : Es común el agrupar a las diferentes especies de MGS en función del tamaño de cristal, distinguiéndose entre :

- Formas cristalinas o macrocristalinas : donde el hábito del mineral puede ser observado a “ojo desnudo” (o con lupa de mano), como por ejemplo la variedad conocida como cristal de roca.
- Formas densas o microcristalinas : donde el mineral esta formado por una agregado “macizo” sin poder individualizar los cristales a simple vista, como por ejemplo la variedad conocida como Calcedonia.

Las propiedades promedio de estos dos grupos macrocristalina (tipo Cuarzo) y microcristalina (tipo Calcedonia) se presenta en la siguiente tabla

PROPIEDAD	VARIEDAD	
	MACROCRISTALINA	MICROCRISTALINA
COLOR	variable	Variable
TRANSPARENCIA	Transparente-translúcido	Translúcido-opaco
BRILLO	vítreo	graso-mate
BRILLO EN FRACTURA	vítreo-graso	graso
RAYA	blanca	blanca-levemente coloreada
INDICE DE REFRACCIÓN	1,54-1,55	1,53-1,54
PESO ESPECIFICO	2,65	2,4-2,7
CONTENIDO DE AGUA	<<0,1 %	0,1-4,0 %
IMPUREZAS	0,01-0,5 %	1,0-20 %
DUREZA	7,0	6,5-7,0

Tabla 5.1-2 : Propiedades promedios de variedades macro y microcristalina de la sílice.

A su vez las variedades microcristalinas de cuarzo pueden ser clasificadas en función de los diferentes tipos de fábrica y microestructura de crecimiento [Fisher C.-2004]. En este sentido Flörke et al.-1991 (citado por Fisher-2004) presenta el siguiente esquema de clasificación :

MINERAL	VARIEDAD	ESTRUCTURA
Cuarzo	Microcuarzo	Granular
	Calcedonia	Fibrosa
	Cuartzino	fibrosa
Moganita		Placas
Cristobalita	Opalo-C	Placas
Cristobalita/Tridimita	Opalo-CT	Fibrosa

Tabla 5.1-3 : Clasificación de algunas variedades microcristalinas de sílice propuesta por Flörke et al.-1991

Microcuarzo : óptimamente semejante a la variedad macrocristalina, cristales de tamaño menor a 0,02 mm

Calcedonia : fibras alargadas perpendiculares al eje "c" (óptimamente positivo)

Cuartzino : fibras alargadas paralelas al eje "c" (óptimamente negativo)

Moganita : estructura formada por una alternancia de finas placas de cuarzo con orientación óptica levógira o dextrógira, a manera de una macla polisintética en la ley de Brasil, a nivel de celda unitaria [Fisher C. -2004].

C. Clasificación Descriptiva : En función de varias propiedades, observables a simple vista, como brillo, color, textura-estructura, etc. se pueden distinguir más de 30 formas o variedades de cuarzo.

No se trata de una clasificación estrictamente técnica, algunas de estas variedades no tienen una clara definición y en otros casos, estrictamente hablando, las variedades deberían ser clasificadas como rocas en vez de minerales. De todas formas, esta clasificación "descriptiva" es la más conocida por el común de las personas y de uso frecuente en la producción y comercio de este tipo de material.

En la siguiente tabla se presenta alguna de las variedades de cuarzo y una breve descripción de las mismas :

VARIEDAD	COLOR	DIAFANIA	HABITO	ESTRUCTURA INTERNA*
Cristal de roca	incoloro	transparente	crystalino	Homogénea
Amatista	violeta	transparente a translúcido	crystalino	Homogénea
Citrino	amarillo	transparente a translúcido	crystalino	Homogénea
Aventurina	verde, rojo, marrón, azulado	translúcido a casi opaco	denso, masas granudas	Heterogénea
Cuarzo ahumado	gris, marrón	transparente a translúcido	crystalina	Homogénea
Cuarzo lechoso	blanco	translúcido a casi opaco	crystalina	Homogénea
Cuarzo rosado	rosado	transparente a translúcido	denso, masas granudas	Homogénea
Amatrina	violeta-amarillo	transparente a translúcido	crystalino	Homogénea
Calcedonia	gris, azul, otros	translúcido	denso	Heterogénea
Agata	varios	translúcido	denso	Heterogénea, textura bandeada
Heliotropo	verde oscuro con puntos rojos	casi opaco	denso	Heterogénea
Onix	negro y blanco	translúcido a casi opaco	densas	Heterogénea, textura bandeada
Jaspe	red, amarillo, varios	casi opaco	densa	Heterogénea
Cornalina	anaranjado, rojo, marrón	translúcido	densa	Heterogénea
Crisoprasa	verde	translúcido	densa	Heterogénea

Tabla 5.1-4 : Listado de algunas de las variedades de sílice

*Se refiere a la existencia o no de otras variedades de la sílice y/o minerales formando parte del conjunto. Ejemplo la calcedonia que esta formada por cuarzo microcristalino y cuarzo fibroso o el jaspe formado por una mezcla de modificaciones de la sílice con diferentes impurezas de otros minerales.

5.1.3 Formas Cristalinas

El cuarzo de baja temperatura cristaliza en el Sistema Hexagonal, División Romboédrica, Clase Trapezoédrica Trigonal.

Presenta en eje cristalográfico vertical (eje "c") que es también un eje de simetría ternario y 3 ejes horizontales (ejes "a₁", "a₂" y "a₃") que son también ejes de simetría binarios y están separados entre si por un ángulo de 120°

[Hurlbut y Klein - 1982]. Ver Figura 5.1-1

Los cristales de cuarzo pueden presentar varias formas simples como :

NOMBRE DE LA FORMA	SIMBOLO	INDICE
Prisma Hexagonal	m	{10 $\bar{1}$ 0}
Romboedro positivo	r	{10 $\bar{1}$ 1}
Romboedro negativo	z	{01 $\bar{1}$ 1}
Bipiramide trigonal	s	{11 $\bar{2}$ 1}
Trapezoedro trigonal	x	{51 $\bar{6}$ 1}

Tabla 5.1-5 : Formas cristalinas simples típicas del cuarzo

En condiciones ideales de cristalización, un individuo podría presentar la combinación de todas estas formas simples. En la naturaleza es más común que los cristales no se desarrollen alguna o algunas de estas formas cristalinas. Como por ejemplo es muy frecuente la ausencia de las caras de la bipirámide (cara s) o del trapezoedro (cara x). También es común el desarrollo diferente de las caras del romboedro, donde generalmente la cara del romboedro positivo (cara r) aparece mucho más grande que la cara del romboedro negativo (cara z). A su vez, algunas combinaciones de formas simples son muy comunes, como la pseudo "pirámide hexagonal", que sistemáticamente aparece en el extremo de los individuos de cuarzo y está formada en realidad por la combinación de dos romboedros uno negativo y otro positivo.

En la Figura 5.1-2 se presenta las formas simples que tiene el cuarzo y las formas compuestas más comunes de este mineral.

Es muy común que el cuarzo presente varios tipos de maclas, en especial son características las maclas de penetración conocidas como Ley de Dauphiné y de Brasil.

La macla de Brasil esta compuesta por una combinación de lámelas interpenetradas de cuarzo de alrededor de 1000 Å de espesor, alternando la orientación levógira y dextrógira, tipo macla polisintética. En los límites entre lámelas de diferente orientación óptica, se forman franjas, que corresponden también a maclas de Brasil, pero a menor escala (espesor de lámelas de alrededor de 1 µm) conocidas como franjas de Brewster. Estas franjas solamente observadas en las amatistas, se corresponden con una mayor concentración de Fe y junto a la macla de Brasil se observan preferencialmente en las caras r de los cristales [Fisher C. -2004].

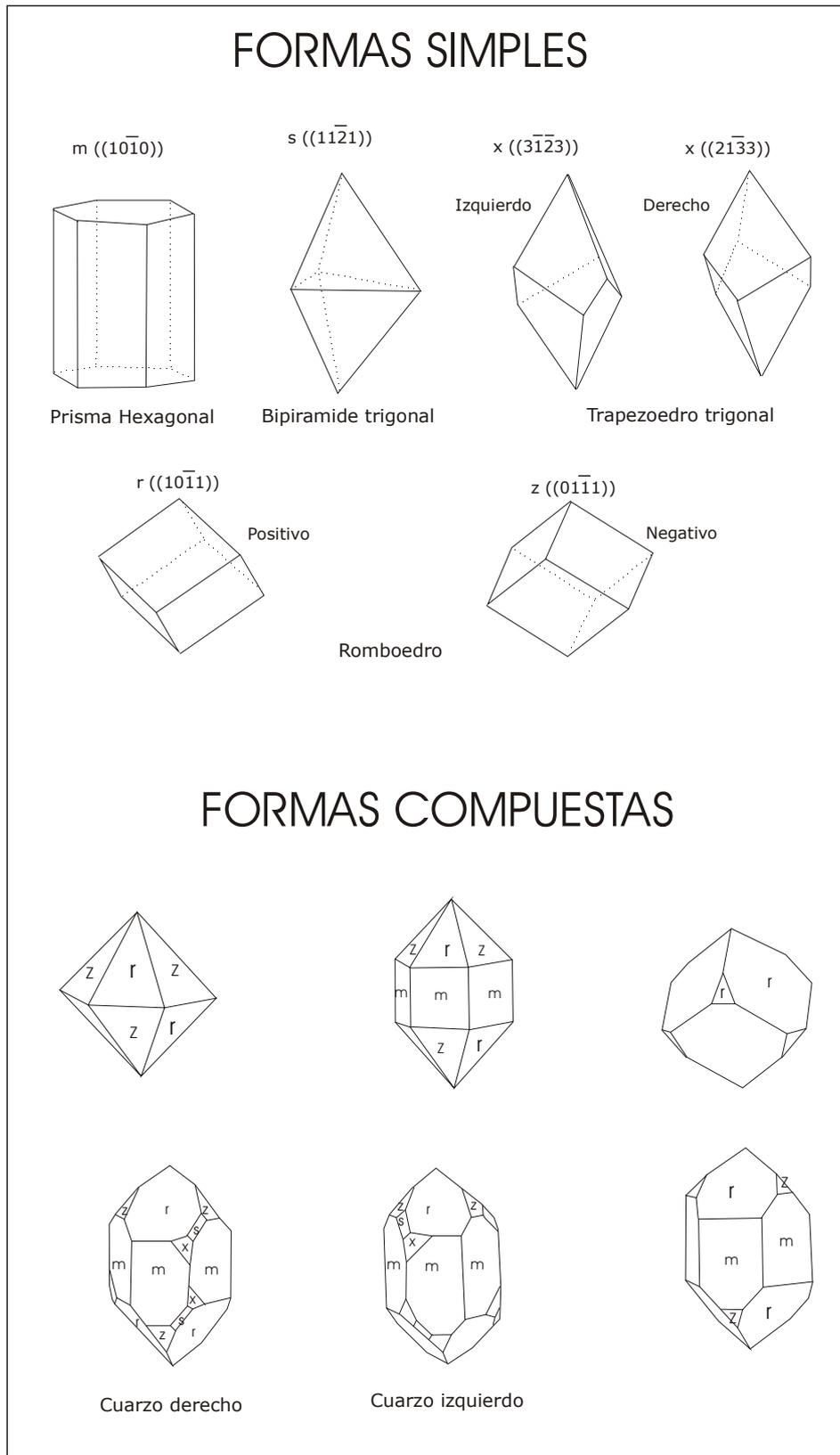


Figura 5.1-2 : Formas simples y compuestas más comunes del mineral Cuarzo

5.2 Agatas y Amatista en los Distritos Los Catalanes y Alto Uruguai

Dentro de las variedades del grupo de la sílice se destacan ampliamente la amatista y el ágata. Estas variedades de cuarzo son las que presentan mayor producción y comercialización mundial y sobre todo es el material objeto de explotación en los yacimientos del Distrito Gemológico Los Catalanes.

En el capítulo siguiente se describen algunas características de estas gemas, en función de las observaciones realizadas en este Proyecto y de la muy escasa literatura existente. En este sentido e intentando suplir esta falta de datos analíticos (ópticos, mineralógicos, geoquímicos, etc.) de nuestras gemas, es que presentamos información generada por investigadores brasileños.

Si bien estos datos son sobre la mineralización del distrito Gemológico de Alto Uruguai, creemos que dada la gran similitud con nuestros yacimientos (ver Capítulo 4) puede servir al menos como elemento de referencia.

5.2.1 AMATISTA

Los cristales de amatista en el Distrito Gemológico Los Catalanes aparecen generalmente como relleno final de macrovacuolas (conocidas como geodas), creciendo perpendicularmente a las paredes de la cavidad, desde la periferia hacia el centro.

Lo más frecuente es que estas geodas presenten 2 fases silicosas, que se desarrollan desde el borde hacia el centro y que están representadas por :

- fase microcristalina fibrosa formada por calcedonia y/o su variedad ágata;
- fase macrocristalina formada en la base por cuarzo incoloro/blanco intercrecido que pasa gradualmente hacia a cuarzo macrocristalino violeta (amatista).

Dentro de las geodas los cristales de amatistas aparecen bastante bien desarrollados en los extremos (euhedrales a subhedrales), pero con importante intercrecimiento en la zona basal. Esto hace que lo que se observa, en forma frecuente en el interior de las geodas, son solo los

extremos de los individuos, que están formados en la inmensa mayoría de los casos por una pseudo-pirámide hexagonal. Dicha forma es en realidad el resultado de la combinación de dos formas simples : romboedro positivo (caras r) y romboedro negativo (caras z).

Es muy común que las caras de uno de los romboedros (cara r ?) este mucho más desarrollada que las caras (cara z ?) del romboedro negativo.

Se observó en forma puntual la ausencia total de uno de los romboedros, generando en el extremo del cristal una pirámide trigonal.

La otra forma cristalina común en los individuos de amatista dentro de las geodas es el prisma hexagonal, que frecuentemente aparece poco desarrollado, en forma de prismas cortos o enmascarado por el intercrecimiento que presenta hacia la base. Ver Figura 5.2-1 / Anexo 5, Formas Cristalinas en Capítulo 5.1 y Figura 5.1-2

Como ya se adelantó no existen datos analíticos de nuestras gemas, por lo que usaremos la información disponible de las gemas ubicadas en los yacimientos de Alto Uruguai –Rio Grande do Sul, Brasil.

Juchem – 1999 presenta en su tesis determinaciones ópticas y geoquímicas sobre las fases silicosas (ágata - cuarzo incoloro - amatista) encontradas en varias geodas de distintos “garimpos” (canteras) de la región de Alto Uruguai.

Los valores presentados por este investigador muestran que la densidad promedio (medidas en las fases silicosas de 12 individuos) de cristales de amatistas es de 2,651 y del cuarzo incoloro de 2,641

Los índices de refracción son muy similares en todas los individuos analizados, confirmando el carácter óptico (+) con una birrefringencia promedio de 0,010 :

Variedad / Región	Densidad (g/cm ³)	Índice de Refracción		Birrefringencia (Δ)
		No (ω)	Ne(ε)	
Amatista /Alto Uruguai	2,642 a 2,667	1,540	1,550	0,010
Amatista /Artigas	2,65	1,540	1,550	0,010
Cuarzo incoloro / Alto Uruguai	2,624 a 2,658	1,540	1,550	0,010

Tabla 5.2-1 : Valores ópticos de variedades de cuarzo macrocristalino de la Región de Alto Uruguai y Artigas. (fuente Juchem – 1999).

También Juchem–1999 presenta varios análisis químicos de elementos mayores y trazas sobre las fases silicosas encontradas en diferentes geodas, utilizando diversas técnicas analíticas como Espectrometría por Emisión de Plasma (ICP), Análisis Instrumental por Activación de Neutrones (INAA) y Espectrometría de Absorción Atómica.

Según este Autor, los resultados obtenidos son concordantes con los publicados en la literatura especializada. El cuarzo macrocristalino violeta presenta alta pureza, con valores de SiO₂ siempre superiores al 98 %.

Elemento	% en Peso	
	Máximo	Mínimo
Al	0,630	0,180
Fe	0,035	0,012
Na	0,014	0,010
K	0,039	0,0041
Li	0,022	nd

Tabla 5.2-2 : Análisis químicos de amatista de geodas de la región de Alto Uruguai, método analítico absorción atómica. Fuente Juchem – 1999.

La impureza química más importante es el Al, pero siempre por debajo del 1 %, seguido por varios elementos mayores como el Fe, Ca, Na, K, Mg y P con valores generalmente menores al 0,1 %. El resto de los elementos químicos solo aparecen en el orden de ppm a ppb, destacándose en la variedad amatista de Alto Uruguai el Ba, Zr, Sr, Cu, Zn, Sc, La, Y y Li. Ver Tabla 5.2-2 y 3

%	Amatista clara			Amatista media			Amatista oscura			Amatista muy oscura		
	Ag	Qz	Am	Ag	Qz	Am	Ag	Qz	Am	Ag	Qz	Am
SiO ₂	98,39	99,75	98,31	98,31	99,1	98,83	98,06	98,3	99,1	98,07	100,28	99,76
Al ₂ O ₃	0,67	0,05	0,63	0,63	0,41	0,7	0,58	0,93	0,49	0,6	0,05	0,08
Fe ₂ O ₃	0,06	0,02	0,07	0,07	0,01	0,11	0,11	0,1	0,09	0,03	<0,01	<0,01
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	0,03	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01
CaO	0,08	0,02	0,14	0,14	0,02	0,18	0,06	0,02	<0,01	0,05	0,01	<0,01
Na ₂ O	0,07	0,04	0,08	0,08	0,04	0,09	0,08	0,08	0,05	0,09	0,02	0,02
K ₂ O	0,06	0,03	0,06	0,06	0,02	0,06	0,06	0,09	0,02	0,02	0,01	0,02
TiO ₂	0,02	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03
LOI	0,74	0,14	0,87	0,87	0,09	0,08	1,02	0,51	0,31	1,13	0,14	0,1
Total	100,14	100,07	100,22	100,22	99,71	100,14	100,02	100,06	100,07	100,05	100,56	100,03
ppm												
Ba	21	29	24	24	12	27	17	21	18	15	30	4
Zr	16	15	16	16	17	20	16	15	16	13	14	14
Y	4	3	4	4	3	5	4	3	3	4	3	3
Cu	3	2	3	2	2	4	3	2	3	8	<2	3
Zn	1	4	3	5	2	2	3	2	2	3	<2	<2
Sr	3	<1	2	2	<1	3	2	<1	2	2	<1	<1
Li	7	<1	<1	14	2	<1	2	<1	2	2	<1	<1
Sc	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	<0,1	<0,1
La	0,5	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	<0,2	<0,2	0,8

Tabla 5.2-3 : Análisis químicos de las 3 fases silicosas de geodas de la región de Alto Uruguai, método analítico ICP/INAA (Ag= Agata / Qz = Cuarzo incoloro intercrecido / Am = amatista). Fuente Juchem – 1999 y Juchem et al. 2000)

En la literatura se menciona la presencia sistemática de inclusiones fluidas y sólidas en el cuarzo macrocristalino.

En el caso de las amatistas de Alto Uruguai las inclusiones fluidas son monofásicas acuosas y raramente bifásicas constituidas por agua mas vapor, mayormente primarias y pseudosecundarias [Fisher A. - 2004 y Gilg H. et al. -2002]. Las mismas se localizan preferentemente en los prismas, siendo muy escasas en los romboedros [Juchem - 1999]

Las inclusiones sólidas que fueron observadas en la amatista de Alto Uruguai son cristales de goethita - FeO (OH), calcita – CaCO₃ y esferulitos

de calcedonia, todas considerados singenéticas. [Juchem L. – 1999 y Gilg H. et al. -2002]

La inclusión sólida más común es la goethita, ocurriendo comúnmente como tufos fibro-radiados depositados sobre antiguas caras de la amatista, marcando discontinuidades de crecimiento del mineral hospedero.

Esto indica un crecimiento simultáneo con la cristalización de la amatista, posiblemente a partir del Fe que no se alojó en la estructura del cuarzo [Juchem L. – 1999].

Para las amatistas de Artigas no hay mucha información sobre las inclusiones, pero si se han observado agregados marrones incluidos en los cristales, que seguramente sea goethita, así como las observaciones realizadas por García Guinea que cita la presencia de goethita, pirita y vivianita [García J. - 2006]. Ver Figura 5.2-2 / Anexo 5

Si bien no existe una explicación precisa para el origen del color en la amatista, la mayoría de la literatura especializada lo asocia a lo que se conoce como centro de color :

Varios de los colores que presentan los minerales, pueden ser explicados utilizando la teoría del "campo cristalino". La misma explica que muchos iones incluidos en los cristales pueden contener electrones no apareados (típicos en elementos de transición como por ejemplo el Fe, Cr, Mn, etc.)

Dichos electrones no apareados, dentro de un estado excitado, pueden interactuar con la luz visible para producir absorción y generar color.

Por otra parte, el electrón causante del color, no tiene que estar necesariamente alojado en un ion perteneciente a un elemento de transición. Sino, bajo ciertas circunstancias, dicho electrón puede presentarse en un ion a manera de impurezas o como un defecto en el cristal por la pérdida de un ion.

Ambas situaciones pueden generar color en algunos minerales, formándose lo que se conoce en mineralogía como "Centro de Color".

Se pueden dar dos situaciones : que el electrón esté ocupando un lugar vacante dentro de la estructura cristalina, formándose lo que se conoce como centro "electrón" color. O cuando un electrón se "escapa" de un sitio donde previamente existían un par de electrones, generándose lo que se conoce como centro "agujero" color [Nassau K. - 1978]. Ver Figura 5.2-3

Como ya se mencionó no se conoce cual es el mecanismo por el cual se produce el color en la amatista, pero existe cierta unanimidad en algunos aspectos sobre este tema :

- El color es mejor explicado por el modelo conocido y anteriormente desarrollado como Centro "agujero" Color
- El elemento químico Hierro (Fe^{3+} o Fe^{4+} ?) como impureza dentro de la estructura cristalina del cuarzo (en sitios sustitucional o intersticial ?) parece ser el promotor de dicho centro del color.

Se sabe además que el cuarzo generado artificialmente con algo de Fe, es convertido posteriormente a cuarzo violeta (amatista) a través de la irradiación con rayos gama con una fuente generalmente de ^{60}Co . (Procedimiento ampliamente utilizado en la industria para originar amatistas artificiales).

El hecho que, la formación del centro de color para dar origen a la amatista necesite irradiación, suma otra nueva duda : cual es la fuente de radiación que originó la amatista natural. Algunos autores sugieren que la presencia de elementos radiactivos (de vida media a larga) situados en minerales vecinos , en baja concentración pero actuando durante largos periodos de tiempo pueden ser los responsables de la radiación necesaria para originar el centro de color en la amatista.

Otro aspecto observado pero aún no explicado correctamente es el hecho que el color se concentra casi exclusivamente en el romboedro positivo y asociado a individuos maclados. Sugiriendo una relación entre intensidad y distribución de color con la dirección cristalográfica de crecimiento y tasa de crecimiento de las diferentes caras [Balitsky et al.-2000].

Fisher-2004 relaciona la concentración del color violeta, que en la mayoría de los casos, esta restringida a determinados sectores cristalográficos, en especial en la cara (cara r) del romboedro positivo, con la macla de Brasil y las franjas de Brewster que se desarrollan también en la misma cara (ver Capitulo 5.1 / C. Formas Cristalinas). El hierro que estaría más concentrado en canales estructurales en el romboedro positivo, produciría además de una mayor concentración de color en esta cara (cara r) algún tipo de deformación y que sería la causa del maclado.

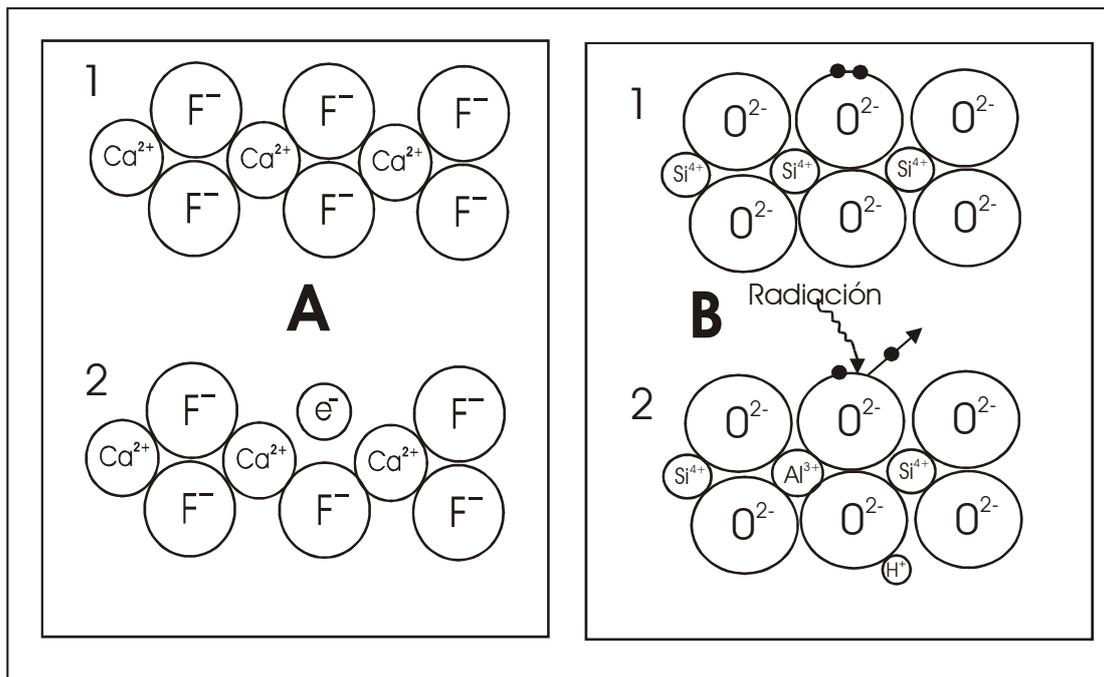


Figura 5.2-3 : Esquema de los 2 tipos de centro de color.

A Tipo Centro "electrón" color mostrando en forma esquemática la estructura de la Fluorita con : 1- situación normal, 2- ion F reemplazado por un electrón.

B tipo centro "agujero" color ejemplificado en forma esquemática con cuarzo : 1- situación normal, 2- con Al^{3+} sustituyendo a Si^{4+} y con H^+ para neutralizar carga. Radiación expulsa 1 electrón del O^{2-} generando un "agujero" y produciendo cuarzo ahumado .Fuente : Nassau K. - 1978

Juchem – 1999 y Juchem et al. 2000 presenta análisis químicos de Fe en cristales de amatista con diferente intensidad de violeta, no encontrando correlación entre concentración de Fe e intensidad de color. Esto reforzaría la idea que el color de la amatista está más relacionado al estado de valencia del Fe que a su concentración . Ver Tabla 5.2-3 y 4

	AMATISTA DE ALTO URUGUAI				
	Clara	Media	Media	Media	Oscuro
% de Fe	0,035	0,015	0,015	0,012	0,031

Tabla 5.2-4 : Concentración de Fe en muestras de amatistas de Alto Uruguay, con diferente intensidad de color (Fuente Juchem et al. 2000)

Cohen A. – 1985 sostiene que para que se forme Fe^{4+} primero es necesario la presencia de pequeñas cantidades de Al^{3+} sustitucional, que formaría un centro “agujero” color. La deficiencia de carga producida en el tetraedro por la pérdida de un electrón del oxígeno es compensada por la pérdida de un electrón del Fe ($Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{4+} + e^-$).

En definitiva y de acuerdo a lo que se sabe hasta el momento, el Fe^{3+} que ocurre como impurezas en la estructura cristalina del cuarzo, preferentemente en el romboedro positivo (?), sufriría ionización por radiación natural (por elementos radioactivos contenidos en la roca caja y en tiempos geológicos ?) produciendo la pérdida de un electrón y la formación de Fe^{4+} , lo que causaría un defecto en la estructura cristalina, generando un Centro de Color. Dicho centro sería responsable por la absorción de bandas de longitud de onda en el verde y amarillo, permitiendo la transmisión de las longitudes de onda violeta, azul y rojo, generando el color violeta en cuarzo . Ver Figura 5.2-4

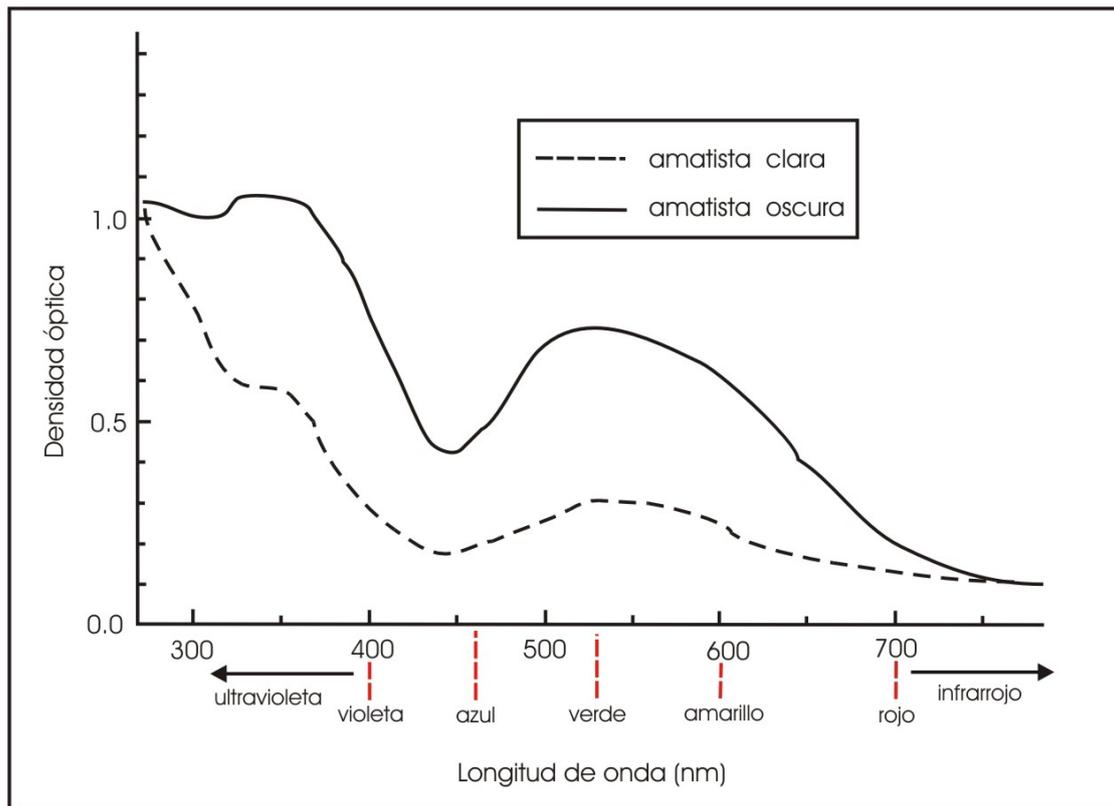


Figura 5.2-4: Espectro de absorción óptica para dos muestras de amatista de Alto Uruguayi (una de color violeta claro y la otra violeta fuerte). Se observa una mayor absorción de energía en la región entre 530-540 nm (que equivale aproximadamente a la luz de color verde y amarillo) y en la banda del ultravioleta (350nm). La absorción es más intensa en el cristal más oscuro por la presencia de mayor cantidad de Fe^{4+} . (Fuente : Fisher - 1999 en Juchem-1999).

5.2-2 AGATA

El cuarzo microcristalino fibroso conocido como calcedonia y su variedad bandeada conocida como ágata, aparecen en diferente proporción volumétrica dentro de las geodas en los yacimientos de Los Catalanes.

Estas variedades son definidas en la literatura como un agregado de cuarzo micro a criptocristalino, granular o fibroso, con una gran cantidad de microporos con diámetro da orden de 0,1 μm . Es un material translúcido, de color variado, brillo resinoso, comúnmente con agua alojada en los microporos.

Las fibras de calcedonia presentan macla de tipo polisintética de acuerdo a la Ley de Brasil. Ver Capitulo 5.1.

La región bandeada consiste en capas de cuarzo fibroso finamente cristalino no macladas, alternando con fibras también finas pero macladas [Merino et al. -1995].

La estructura del ágata puede ser interpretada como una alternancia de calcedonia de grano fino y mal formada, intercrecida con monagita y cuarzo de grano grueso mejor formado [Götze et al.-2004].

El bandeamiento del ágata puede ser solamente estructural o estar marcado por la presencia de capas de diferente color [Fisher A.-2004]. El color de las bandas de ágata está vinculado a la presencia de impurezas que actúan a manera de pigmentos.

Juchem-1999 realiza varias observaciones al microscopio de la parte periférica de geodas, verificando que la textura oscilatoria de geodas de alto Uruguai está formada por una alternancia de bandas cuarzo incoloro, finamente cristalizado (FQ) y cuarzo fibroso de enlongación negativa conocido como calcedonia (C). Ver Figura 5.2-5

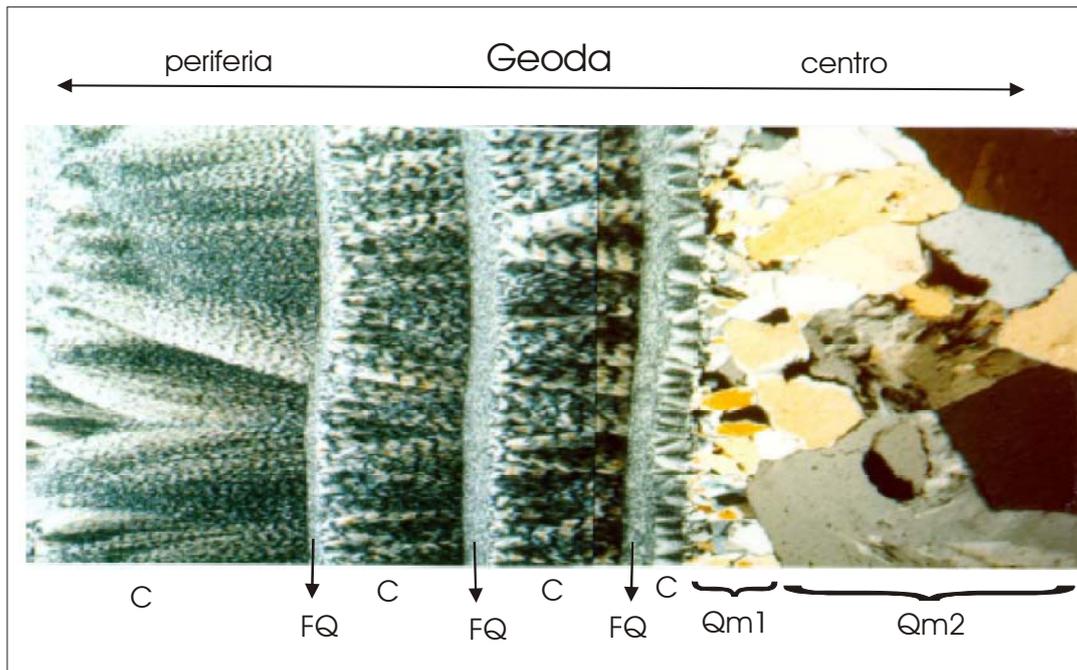


Figura 5.2-5: Fotomicrografía de sección de la periferia de una geoda, mostrando la textura oscilatoria típica de las ágatas, dada por la alternancia de capas de cuarzo microcristalino (FQ) y fibras de calcedonia (C).

Se señala también en la parte derecha de la foto, la facie macrocristalina, que comienza con granos pequeños (Qm1) para pasar progresivamente a granos más grandes (Qm2). Fuente de Juchem–1999)

Juchem–1999 realiza y recopila varias medidas de densidad e índices ópticos que se presentan en la tabla 5.2-5

Región	Densidad (g/cm ³)	Índice de Refracción		Birrefringencia (Δ)
		No (ω)	Ne(ε)	
Alto Uruguay /R.S.	2,582 a 2,620	1,532 a 1,540	1,538 a 1,549	0,002 a 0,009
Salto do Jacuí / R.S.	2,59 a 2,65	1,536 a 1,540	1,540 a 1,544	0 a 0,008
Uruguay	-	1,534	1,540	0,006

Tabla 5.2-5 : Valores ópticos de variedades de cuarzo microcristalina (ágata).

Básicamente se puede distinguir dos tipos de geodas en función de la proporción de calcedonia/ágata que rellena la cavidad :

- Geodas totalmente rellenas de calcedonia y/o ágata, o con una muy pequeña cavidad central, que algunos autores denominan nódulos de ágatas.
- Geodas donde la calcedonia y/o ágata forma la parte más externa de la cavidad, con espesores generalmente en el orden de milímetros a centímetros. Esta capa periférica de calcedonia/ágata actúa a manera de “soporte” a partir de la cual crece la variedad macrocristalina de cuarzo incoloro o violeta (amatista).

Los nódulos de calcedonia/ágata, conocidos como ágata masa y ágata listada en la terminología minera, junto a la amatista (geodas, lajas y picos) forman el material explotado y comercializado en el distrito gemológico de Los Catalanes. Ver Capítulo 8.2 – Productos y Precios.

El color y diseño de las bandas es extremadamente variable, incluso dentro de un mismo depósito. Pero en general los colores más frecuentes son gris, azul grisáceo así como diferentes tonos de amarillo y rojo. El espesor de las bandas varía desde milímetros hasta centímetros, siendo la disposición más frecuente de tipo concéntrica o paralela a los bordes de la geoda. En forma muy subordinada se observó bandeamiento horizontales o de tipo “gravitacional”, mayoritariamente en la base de los nódulos.

El tamaño de los nódulos es otro parámetro muy variable, con eje mayor desde algunos centímetros hasta más de 1 m (se observó ágatas masas de más de 300 kg de peso). Las formas más comunes son esféricas y elípticas estas últimas comúnmente achatadas.

ANEXO 5



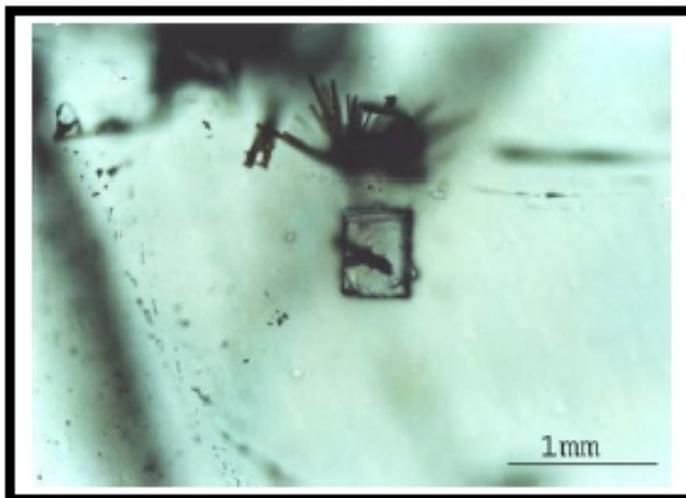
Figura 5.2-1 : Cristales de amatista y cuarzo blanco encontrados en geodas del DGLC. Se muestran diferentes tamaños e intensidad y distribución del color. En este caso solo se desarrollan las caras del romboedro del cristal.



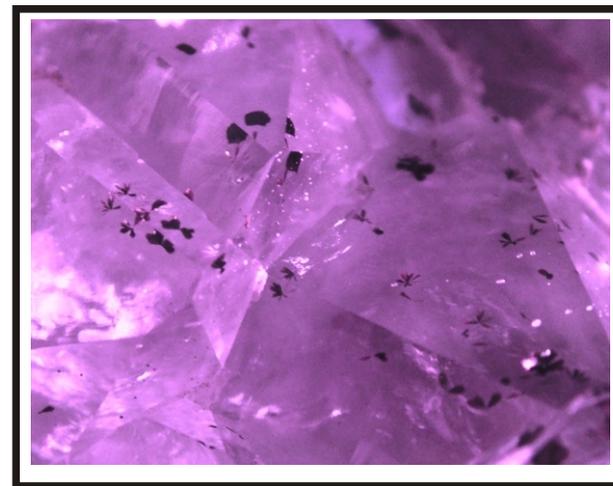
A (Alto Uruguay)



B (Alto Uruguay)



C (Alto Uruguay)



D (Artigas)

Figura 5.2-2 : Microfotografías de secciones de cristales de amatista mostrando inclusiones solidas A, B y D agregados fibroradiados de goethita. C: agregados de goethita junto a dos cristales de calcita
Fuente : Fotos A, B y C Juchem-1999 y Foto D García Guinea - 2006

6. GEOLOGIA DEL DISTRITO GEMOLOGICO LOS CATALANES

6.1 Antecedentes geológicos del distrito

El conocimiento geológico-cartográfico sobre el distrito minero a una escala adecuada es casi nulo. Solo se pueden citar 2 trabajos que tratan el tema con poca profundidad, que se resumen a continuación:

Bossi & Ferrando – 2001 : En la Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay 1.500.000, se presenta una breve reseña de la geología-estratigrafía del Bloque Los Catalanes, dentro del cual esta inserto el Distrito Gemológico Los Catalanes. Para la zona dentro de dicho Bloque, que se corresponde con la cartografiada ejecutada en este trabajo, los autores citados anteriormente plantean la existencia de 5 coladas. “La colada que ocupa la posición basal se desarrollaría al S-SE del área y presenta una estructura muy característica que permite su fácil reconocimiento tanto en el campo como en imágenes” (colada 2 en la estratigrafía del Bloque).

“La colada 3 del Bloque, aflora en los valles de los arroyos Catalán Grande, Chico, Seco y Catalancito y presenta un nivel geódico intensamente explotado. La colada 4 del Bloque tiene un desarrollo restringido en los alrededores de los cursos superior y medio de los arroyos Juan Fernández y Catalán Chico. La colada que ocupa la posición estratigráfica 5 cubre directamente las coladas anteriores. Presenta un nivel vacuolar de potencia variable y puede presentar amatistas de color claro en geodas de gran tamaño y aisladas. La última colada para la zona considerada (colada 6 del Bloque) se desarrolla en las zonas altas de la Cuchilla Yacaré-Cururú”

Disperati L. et al. – 2001 : Estos autores presentan un resumen de la cartografía geológica a escala 1.50.000, que habrían realizado en el distrito minero Los Catalanes. En el trabajo se plantea el afloramiento de 5 coladas en el distrito : la colada basal (colada 1) coincide con el trabajo de Bossi & Ferrando – 2001. Las coladas mas “jóvenes” (coladas 4 y 5) aflorarían al sur del área en las zonas altas. Las coladas 2 y 3 de la estratigrafía de estos autores, presentan un nivel geódico que es explotado en algunas zonas del distrito.

	ESTRATIGRAFIA DEL DISTRITO MINERO SEGUN :	
	Bossi & Ferrando – 2001	Disperati L. et al. – 2001
Base	Colada 2	Colada I
↓	Colada 3 (con extracción)	Colada II (con extracción)
	Colada 4	Colada III (con extracción)
	Colada 5 (con extracción ?)	Coladas IV
	Colada 6	Colada V
Tope	En Base a Bloque Los Catalanes	En Base a Distrito minero Los catalanes

Cuadro 6.1-1 : Estratigrafía del Distrito Gemológico Los Catalanes según los antecedentes

Tampoco existe mucha información sobre la estructura intraderrame de las coladas de la formación Arapey. Casi toda la información conocida actualmente es producto de los trabajos de cartografía a escala 1:100.000 del Programa Basalto, ejecutado por la Cátedra de Geología de la Facultad de Agronomía, a finales de la década del ´60 y principios de los años 70.

La información más valiosa, generada por este Programa, para ser utilizada por nuestro trabajo, es la caracterización intraderrame y los estudios petrográficos comparativos.

La descripción de la estructura intraderrame realizada durante el Programa Basalto, en especial de la zona de tope, fue utilizada en parte como una guía en las tareas de mapeo geológico a la hora de definir los límites intercoladas del DGLC.

Un resumen, de los tipos de estructura intraderrame y de la disposición de las areniscas interderrame asociadas encontradas durante el Programa, es presentado por Bossi & Navarro 1987, la cual se presenta a continuación :

Tipo	Descripción (solo de la zona superior de la colada)
1	-Brecha ígnea con o sin cemento areniscoso. -Basalto vesicular muy meteorizable (puede faltar).
2	-Basalto vesicular rojo, fácilmente meteorizable.
3	-Brecha ígnea, a veces con filones descendentes de arenisca. -Nivel geódico con calcedonia, cuarzo y/o amatista.
4	-Basalto vesicular resistente a la meteorización.
5	-Basalto brechoso, a veces con cemento areniscoso, muy resistente a la meteorización.

Cuadro 6.1-2 : Diferentes tipos del tope de coladas de la Formación Arapey. Tomado de Bossi & Navarro 1987

En cuanto a las areniscas interderrame, según Bossi & Navarro 1987, se pueden presentar como :

- Sábanas entre derrames.
- Barcanes o barjanes aislados entre derrames.
- Filones de arenisca en el nivel superior de la brecha, de forma contorneada
y desdibujándose hacia la parte inferior.
- Filones de arenisca en el tope de los derrames introducidos en fracturas de
la lava ya solidificada.
- Filones de arenisca inyectados en la base de los derrames por fluidificación
de la arena de una capa adyacente cuando se produce el derrame

El aporte del Programa Basalto, sobre aspectos petrográficos de los derrames, es sintetizado por el trabajo de Fernández A. y Ledesma J. – 1974, donde se detallan varios criterios posibles de correlación entre coladas, a través del estudio petrográfico de láminas delgadas. (ver Capítulo 3.3).

6.2 Aspectos generales

En el área cartografiada en este trabajo afloran 6 coladas, de composición principalmente basáltica y con disposición groseramente horizontal. Entre los diferentes pulsos magmáticos es muy común la presencia de pequeños cuerpos de arena eólica. Ver Figura 6.2-1 / Anexo 6.

Una de las principales tareas en esta etapa del Proyecto fue la identificar y separar tanto en foto como en campo los límites de coladas. Para ello es fundamental el conocimiento de las características intraderrame, en especial la parte cuspidal de la colada, que puede ser utilizada como nivel "guía" en la cartografía. En una parte del área en estudio, mitad sur aproximadamente, la utilización de niveles guías, en especial la brecha y/o el vesicular del tope de las coladas (a veces con nivel geódico inmediatamente por debajo) permitió separar en forma satisfactoria las coladas. Pero en otras áreas, en especial en la mitad norte del distrito, dicha separación no resulta tan fácil, principalmente por las variaciones laterales intraderrame, que se traducen en un escaso desarrollo o desaparición de estos niveles "guías". Para estas zonas la fotointerpretación debe ser acompañada de trabajo de campo de mayor detalle. En el capítulo siguiente se presentan varios perfiles mostrando estos cambios laterales, en la parte superior de las coladas 2, 3 y 4.

La otra tarea importante, para la ejecución de la carta geológica del DGLC, era definir la ubicación espacial-temporal de cada colada aflorante en el distrito.

La estrategia seguida y que dio buenos resultados, fue primero definir la estratigrafía relativa, en forma clara y precisa, en una pequeña área. A partir de esta "área tipo", se fueron realizando correlaciones con las coladas ubicadas en zonas adyacentes y que estaban separadas físicamente. El resultado alcanzado, es decir la estratigrafía relativa del DGLC, es el que mejor se ajusta a las observaciones de campo realizadas, a la fotointerpretación y consideraciones teóricas. Quedando ciertas dudas sobre la relación espacial entre la colada definida como basal del distrito (colada 1) y la tercera colada de la secuencia. Por otra parte la colada 2, que aflora recién en la mitad norte del distrito, no presenta contacto aflorante con la colada 1.

Algunas de las consideraciones que nos llevaron a decidir ubicar en la posición basal a la colada que aflora ampliamente al sur del distrito se presentan a continuación :

- Se pueden distinguir claramente 2 tipos de coladas, por un lado la colada que suponemos basal (colada 1), con disposición irregular y litologías muy particulares y por otro lado el resto de la secuencia integrada por 5 derrames basálticos, superpuestos y sub-horizontal (ver detalle en el siguiente capítulo)
- En el sector S-SW del área, la colada 1 es claramente la base de las coladas 4, 5 y 6. A su vez el análisis estereoscópico de fotos aéreas, muestra que la colada 1 habría actuado como una "barrera" al avance de las coladas 4 y 5.
- Las características particulares de la colada 1, que abarca una enorme extensión hacia el S y SE del distrito, hacen pensar en la posibilidad que la misma se haya derramado sobre una superficie irregular y que posiblemente durante su extrusión y emplazamiento sufrió gran contaminación con arena.

En función de lo anterior, una hipótesis probable es que la colada 1 se haya derramado antes que el "paquete" de 5 coladas basálticas y sub-horizontales y posiblemente, al menos en parte, sobre un paleorelieve desértico arenoso. (actual Formación Tacuarembó).

En base a las consideraciones anteriores, del análisis detallado de las fotos aéreas 1:20.000 y del gran número de observaciones y cortes geológicos, se definió la estratigrafía relativa para el Distrito Gemológico Los Catalanes, como se presenta en el cuadro 6.2-1.

COLADA	COTA	GEODICO		PERFIL SUPERIOR	ARENISCA INTERDERRAME	ZONA MEDIA E INFERIOR	ZONAS DE AFLORAMIENTO Y MORFOLOGÍA
			CARACTERISTICAS				
6	≥300/280	No		• Solo nivel masivo basal (erosión)	?	?	Cuchilla Belén (SW del Area) / Cordilleras y "cascos" en cumbres de cerros.
5	≤300/280	No		•Vesicular/brechoide poco desarrollado o ausente	•Niveles de arenisca puntuales	Masivo con buen desarrollo de nivel columnar inferior.	Cno. La Bolsa-Meneses, Cuchilla Belén, (sur del área) / Planos altos y "cascos" en cerros
4	≤240	Si	•Espesor ~2 m •Basalto masivo, gris •Geodas cilíndricas, verticales de 50 a 500 kg	•Nivel vesicular /brechoide bien desarrollado.	•No fue observado (granos de arena en la matriz de la brecha)	Masivo con nivel prismático corto aplanado en la base	Zona La Cordillera y sur del área / extensos planos altos
3	≤200	Si	•Espesor de 1 a 8 m •Textura masiva a vesicular •Estructuración en 2 zonas •Hidrobrechas, fracturas mineralizadas y zonas de alteración hidrotermal •Geodas horizontales de hasta 15.000 kg	•Nivel vesicular /brechoide con desarrollo variable. Fuerte variaciones laterales	•Niveles, bloques y filones de arenisca, + arena en la matriz de la brecha	Masivo, con frecuente vesículas dispersas. Nivel basal prismáticos achatado y lajoso	Cursos de Catalán Grande, Chico, Seco, / Valles y planos bajos de la cuenca inferior del Catalán Gde.
2	≤170	Si	•Espesor de 1-6 m •Textura vesicular •Geodas-vesículas orientadas horizontalmente •Estructuración en 2 zonas •Geodas horizontales de hasta 100 kg	•Vesicular/brechoide poco desarrollado o ausente	•Niveles de arenisca puntuales	Masivo	Cursos de Catalán Chico, Seco, J. Fernández, Z. Talas / Valles de cursos de agua al N del Distrito
1	220-270	No		•Macro-brecha ? superior.	•Niveles de arenisca frecuente y arena en la matriz de la brecha	?	Zona S-SE y E del DGLC / Planos con superficie rugosa

Cuadro 6.2-1 : Cuadro estratigráfico propuesto para el Distrito Gemológico Los Catalanes. Ver además Figura 6.2-1.

Con respecto a la información de sub-superficie, existen en la zona y alrededores unas 7 perforaciones, las cuales fueron identificadas y posicionadas con GPS durante el trabajo de campo. Dichas perforaciones fueron ejecutadas por el ex Instituto Geológico y de Perforaciones (hoy DINAMIGE) en la década del '50. Los pozos fueron realizados en busca de agua, cortando la roca con granallas metálicas, obteniéndose como resultado un valioso perfil litológico del pozo, representado por muestras de testigos corridos. Lamentablemente esta valiosa información tiene dos grandes inconvenientes :

- Existen varios metros sin recuperación, en dos perforaciones (pozo 470 : 16 m sin registro / pozo 626 : 17 m sin registro), es decir no se posee información litológica de varios tramos.

▪ Y lo que es peor, posiblemente por un problema de espacio, no fue archivado todo el perfil del pozo. Los testigos de la perforación están conformados por fragmentos de roca de unos pocos centímetros, que representan tramos de varios metros (en algunos casos hasta más de 10 m).

Por otra parte 3 de las perforaciones (626, 585/1 y 2) se ubican a más de 15 Km. al N del área de trabajo y de las perforaciones restantes, 3 de ellas (470, 547 y 514 / 13) se ubican en el límite N de la zona cartografiada. Ver Figura 6.2-2.

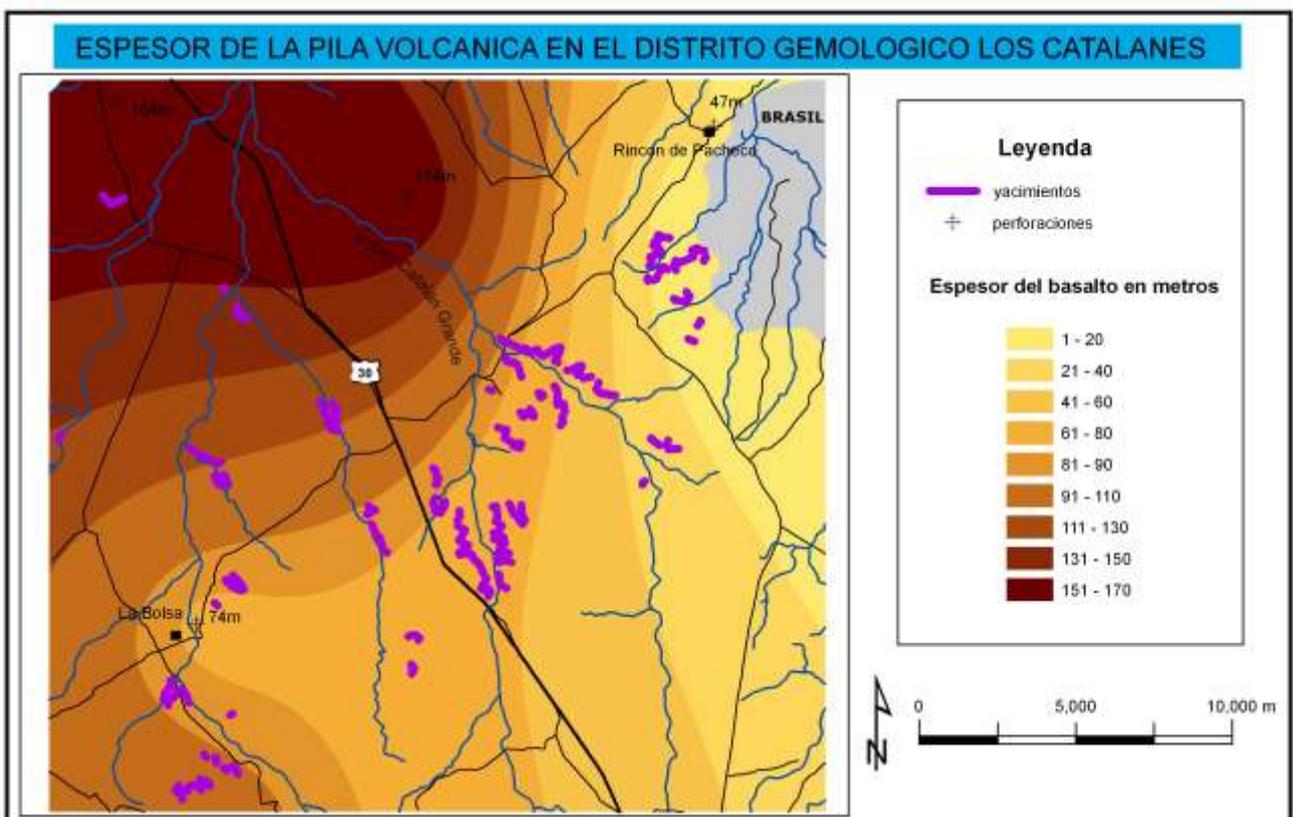


Figura 6.2-2 : Iso-potencia de la pila volcánica en el Distrito Minero, calculada en base a las perforaciones testigadas del área y estimaciones a partir de la geología y topografía. (ver Cuadro 6.2-2). Se agrega además la localización de los yacimientos de ágata y amatistas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, sumado al hecho de que la estructura intraderrame presenta en forma frecuente variaciones laterales, la información del subsuelo surgida a través de la descripción de

las perforaciones debe ser tomada con mucha precaución y de una validez relativa si es utilizada para caracterizar o separar o correlacionar coladas.

De todas maneras, algunos datos valiosos sobre el área cartografiada y zonas cercanas pueden ser extraídos de la descripción y análisis de los “fragmentos” de testigos, los cuales se resumen a continuación :

- La perforación del poblado La Bolsa (514/4), la mejor localizada, atraviesa 70 m de basalto. Comienza a cota aproximadamente 190 m., en la colada 3 de la estratigrafía relativa del DGLC y no presenta ningún contacto claro hasta el nivel de arenisca del fondo del pozo, salvo un basalto vesicular poco desarrollado a los 22 m de profundidad. Esto implica que el perfil estaría integrado por solo la colada 3 y con una potencia de 70 m (mucho mayor de lo observado en el resto del área para esta colada) o alternativamente por 2 coladas : colada 3 hasta los 22 m de profundidad y otra colada (colada 2 ?) hasta los 74 m. La perforación termina en 4 m de arenisca, que puede interpretarse como un nivel interderrame (por lo que existiría por lo menos otra colada) o se trata de areniscas de la Formación Tacuarembó (por lo que la pila volcánica en esta zona tendría tan solo 74 m).
- La perforación 457, localizada en el poblado Rincón de Pacheco (el extremo NE del distrito minero) también presenta la misma ambigüedad : 1 o 2 coladas. El pozo termina en un potente nivel de arena de 27m que se corresponde con la Formación Tacuarembó e implicando que el espesor actual de la pila volcánica, en esta zona es de apenas 40 m.
- Las perforaciones 457 y 514/4 ubicadas en el extremo N de la zona también presentan al final, un potente nivel de arena de 13 y 14 m respectivamente, que podría corresponder a la Formación Tacuarembó, lo que implicaría que el espesor actual de la pila volcánica, en esta zona, sería de 174 y 164 m.
- De las tres perforaciones restantes, ubicadas entre 15 a 17 km al norte de la zona de estudio, se destaca la realizada en la estancia Lira Brum (626) con un espesor de la pila volcánica de por lo menos 208 m.

En resumen, la pila volcánica en el distrito parece ser relativamente poco potente, con espesores que en general no superarían los 150 m, con una disminución del mismo desde el W al E y un aumento aparente del espesor

y número de coladas hacia el N-NW. Los niveles de arenisca interderrame presentarían espesores máximos de 4 m.

Perforación	Ubicación X / Y / ~Z	Nº de coladas superpuestas	Espesor de coladas (m.) máx. / mín / pro	Espesor total del basalto (m.)	número de N.A.I. / potencia (o arenisca de Tacuarembó)
514 / 13 , La Bolsa	448688 6588183 200 m	1 2?	70 52 / 22 / 37	70	1 / 4 m (ubicado al final del pozo)
457 , Rincón de Pacheco	465234 6604202 170 m	1 2?	40 29 / 21 / 20	40	27 m al final del pozo (Tacuarembó)
470 Estancia Rachete	455367 6601933 195 m	5?	72 / 9 / 36*	176	13 m al final del pozo (Tacuarembó)
585/1, Estancia O. Brum	442132 6617022 165 m	2	52 / 21 / 37	74	1 / 4 m
585/2, Estancia O. Brum	443877 6618060 180 m	4	50 / 31 / 41*	154	2 / 4 m (el último NAI aparece al final del pozo)
626, Estancia Lira Brum	440314 6614731 190 m	7 ?	69 / 5 / 39*	208	1 / 4 m
514/4, Estancia G. Riani	446189 6604945 190 m	3?	80 / 23 / 54	164	14 m al final del pozo (Tacuarembó)

Observaciones : 1- El número de coladas y los valores de espesor de cada una en el pozo ,máximo (máx.), mínimo (mín.) y promedio (pro), deben tomarse como posibles por las consideraciones ya realizadas en el texto. / 2- Los valores promedio identificados con un * son más realistas, ya que fueron calculados sin tener en cuenta la primera y/o última colada, que puede presentar un espesor parcial. 3- Los Niveles de arenisca interderrame (N.A.I.) de 4 m de potencia y ubicados al final del pozo podrían ser en realidad el piso de la pila volcánica y por lo tanto corresponder a la unidad Tacuarembó. / 4- Para los pozos 514/13 y 457 se manejan 2 posibilidades, ver texto para más detalle. 5- El valor de Z (altura de la boca del pozo) es muy aproximado, ya que se calculó a partir de las cartas topográficas.

Cuadro 6.2-2 : Información de perforaciones testigadas ejecutadas en la zona de estudio y los alrededores.

6.3 Geología Descriptiva del DGLC.

Como ya se mencionó fueron identificadas y separadas 6 coladas dentro del distrito minero. Algunas de ellas afloran totalmente (coladas 3, 4 y 5), otras en forma parcial (coladas 1 y 2) y por último la colada 6, parcialmente erosionada, solo aparece la parte basal. Ver Figura 6.2-1 / Anexo 6

En lo que sigue se describen las características de cada colada mapeada, advirtiendo que los yacimientos de ágatas y amatistas, es decir los sectores “ricos” de la parte superior de las 3 coladas mineralizadas, serán descriptos con mayor detalle en el capítulo siguiente :

Colada basal : Colada 1 en la estratigrafía relativa, aflora extensamente en el S-SE y E del área cartografiada. Este derrame presenta características morfológicas y texturales muy particulares, lo que permite su fácil identificación a todas las escalas, desde las imágenes satelitales y fotos aéreas hasta los afloramientos. A nivel de imagen presenta una foto-textura característica, conformada por “fajas” claras (zonas con roca aflorante) rodeada de áreas más oscuras (zonas con cobertura).

A nivel de campo las zonas aflorantes están conformadas por dos tipos de litologías :

- Bloques centimétricos a métricos de una roca afanítica, rojiza, muy tenaz. que en algunos sectores desarrolla un fuerte bandeamiento magmático. Dichos bloques, en algunas zonas están fuertemente orientados, formando especies de “cordones” con dirección variable, pero en otras zonas están dispuestos en forma caótica, sin una orientación preferencial. Ver Figura 6.3-1, Fotos A y C / Anexo 6
- Al lado de la facie afanítica se observa un material altamente vesicular, de color rojizo o grisáceo, medianamente tenaz, de aspecto terroso.

La relación entre estas 2 facies no es clara, pero en algunas zonas parecería que los bloques del material afanítico estuvieran “inmersos” en la facie altamente vesicular, a manera de una megabrecha, como fue sugerido por Bossi & Ferrando –2001. Ver Figura 6.3-1, Fotos B / Anexo 6

Fuera de estas zonas de afloramientos, aparece una cobertura edáfica superficial, que se corresponde con las zonas más oscuras observadas en las fotos aéreas. Perfiles naturales de este material fueron observados solo

en aquellos lugares donde los cursos de agua produjeron importantes entalles.

Estos perfiles están integrados por material vesicular-escoriácico, similar al encontrado en las zonas aflorantes descritos anteriormente y material brechoide conformado por una matriz vesicular y fragmentos de material masivo. Este conjunto aparece muy poco tenaz y fácilmente meteorizable.

En general esta colada presenta una morfología superficial muy irregular, cortando las curvas de nivel y apareciendo desde cotas 190 m hasta más de 270 m. En afloramientos con desniveles de hasta 3 m, no se observó ningún cambio importante a las características ya mencionadas, pero es de suponer que estas litologías representen la parte superior de la colada.

Observando las imágenes satelitales, esta colada parece extenderse fuera del área de estudio, más allá del poblado Masoller y hacia el E dentro del territorio Brasileiro. Si esto es correcto, esta colada tendría una extensión superficial continua de más de 1000 km². Por otra parte las características litológicas y estructurales parecen indicar una alta viscosidad para este derrame.

Fueron tomadas algunas muestras de la facie masiva-bandeada y de una brecha para análisis petrográficos, los resultados se detallan a continuación :

Muestra de mano : Fragmentos de basalto vesicular englobados por una matriz muy fina y de color rojizo (arenisca) :

Descripción petrográfica

- Fragmentos : formada por listones de plagioclasa de 0,1-0,2 mm y escasos cristales de piroxenos, inmersos en una mesostasis formada por una masa marrón (vidrio?). Las vesículas están rellenas de calcedonia.
- Matriz : Integrada por una mezcla de granos de arena cuarzosa y vidrio marrón similar a la mesostasis de los fragmentos.

Muestra de mano : Basaltos masivos, con sectores bandeados, grano fino, color gris

Descripción petrográfica (en base a 3 láminas delgadas):

La facie masiva a bandeada de la colada 1, esta representada por rocas hipocrystalinas, con abundante presencia de vidrio, fenocristales (escasos) y matriz formada principalmente por plagioclasa y piroxeno.

Los fenocristales de plagioclasa son de composición An_{53} - An_{56} (Labradorita) de un tamaño variable entre 0.6 y 0.8 mm de eje mayor y suelen poseer maclado del tipo Carsbald, Albita y combinada Albita-Carsbald.

Los fenocristales de piroxeno son de un tamaño variable entre 0.3 y 2.0 mm de eje mayor y suelen presentar macla simple. Ocasionalmente se presentan algunos individuos con macla "reloj de arena", lo que indica su composición (Augita titanífera).

La matriz de esta colada esta caracterizada por plagioclasa, piroxeno, cuarzo, minerales opacos y abundante vidrio, lo que origina una textura de tipo intersertal. Las plagioclasa de la matriz tiene un tamaño variable entre 0.05 y 0.1 mm y son de composición An_{43} - An_{46} (Andesina). Mientras que los piroxenos tienen un tamaño de 0.05 mm. La mayoría de los minerales opacos son puntuales tardíos. Como mineral de alteración se presenta principalmente Iddingsita (olivinos alterados ?).

La roca presenta una textura fluidal y/o bandeado por flujo, caracterizada por la orientación de las plagioclasa, según su eje mayor.

Colada 2 : Aflora exclusivamente en la mitad norte del Distrito, en general restringida a los valles de los cursos de agua, ya que hacia las zonas más altas es cubierta por la colada 3. En general aparece por debajo de la cota altimétrica 170 m. y presentaría una potencia, estimada a través de las curvas de nivel de las cartas topográficas 50 mil, del orden de 40 m. La estructura intraderrame presenta las siguientes características:

BASE : En general no aflora, aunque fue reconocido en el NW del área estudiada en el cauce del A° Juan Fernández, un basalto gris, de grano fino, con densa fracturación horizontal, que posiblemente representa el nivel lajoso de la zona inferior del derrame.

MEDIO : 30-35 m de basalto masivo, de grano fino, color gris a gris verdoso, con fracturación muy irregular, tanto en espaciado como

orientación y con un horizonte superior macro-vesicular muy irregular, tanto en potencia como en tamaño, densidad y relleno de vesículas. En general este horizonte, está muy mal desarrollado y se presenta como un basalto masivo, con vesículas dispersas, algunas de las cuales pueden alcanzar tamaños de hasta 15-20 cm y presentar relleno silíceo. En algunos sectores restringidos, este horizonte se hace más potente (hasta 5 m) y presenta buena concentración y tamaño de geodas (de hasta 0,6 m) con paragénesis silícea de calcedonia/ágata-cuarzo-amatista.

Esta zona mineralizada puede estar estructurada en dos partes, ambas mineralizadas : una superior, conformada por un basalto altamente vesicular, marrón claro, muy alterado y otra inferior, formada principalmente por un basalto masivo (a veces con abundantes y pequeñas vesículas) relativamente tenaz, color gris verdoso. Ver Capítulo 7- Nivel mineralizado 2, para más detalle.

TOPE : Hasta 1 m de un basalto vesicular marrón, con una concentración de 15-20 % de vesículas, vacías o tapizadas de arcillo-minerales. Es muy común que esté muy alterado y aparezca cubierto por suelo. En algunas zonas (especial-mente vinculadas a los niveles geódicos) aparece un basalto brechoide de hasta 5 m de potencia, generalmente integrado por fragmentos de basalto vesicular, englobados por una matriz basáltica-sedimentaria. Ver Figura 6.3-2 / Anexo 6

La estructura intraderrame, en especial la parte superior, no es uniforme en toda la extensión de la colada, siendo común variaciones laterales como (Ver perfiles en Figura 6.3-3) :

- Disminución del espesor o mismo desaparición de los niveles de basalto vesicular y/o brechoide.
- Disminución del espesor o desaparición del basalto geódico.
- Variaciones de la mineralización en términos de tamaño y densidad de macrovesículas así como del tipo de relleno silíceo de las mismas.

Fueron tomadas algunas muestras del basalto masivo para análisis petrográficos, los resultados se detallan a continuación :

Muestras de mano : Basaltos masivos, grano fino, color gris-verdoso.

Descripción petrográfica (en base a 5 láminas delgadas):

Los basaltos correspondientes a la colada 2, son principalmente holocristalinos y ocasionalmente hipocristalinos, de textura afanítica y

subofítica y en algunas ocasiones poiquilítica, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno, inmersos en una matriz de igual composición.

Los fenocristales de plagioclasa son de composición $An_{55}-An_{50}$ (Labradorita) de tamaño variable entre 0.6 y 1.4 mm de eje mayor y suelen poseer maclado del tipo Carsbald y combinada Albita-Carsbald.

Los fenocristales de piroxeno son de tamaño variable entre 0.5 y 1.0 mm de eje mayor, algunos presentan maclas del tipo "reloj de arena", lo que indica su composición (Augita titanífera).

La matriz de esta colada esta caracterizada por plagioclasa, piroxeno y minerales opacos. La plagioclasa de la matriz tiene tamaño variable entre 0.1 y 0.2 mm. y su composición $An_{44}-An_{45}$ (Andesina), mientras que los piroxenos varían entre 0.25 y 0.1 mm.

Los minerales opacos son desde puntuales tardíos a automorfos tempranos. Como mineral de alteración se presenta casi en exclusividad la iddingsita (olivinos ?) y ocasionalmente la clorita.

Esta colada suele presentar vacuolas que generalmente están vacías o rellenas de calcedonia.

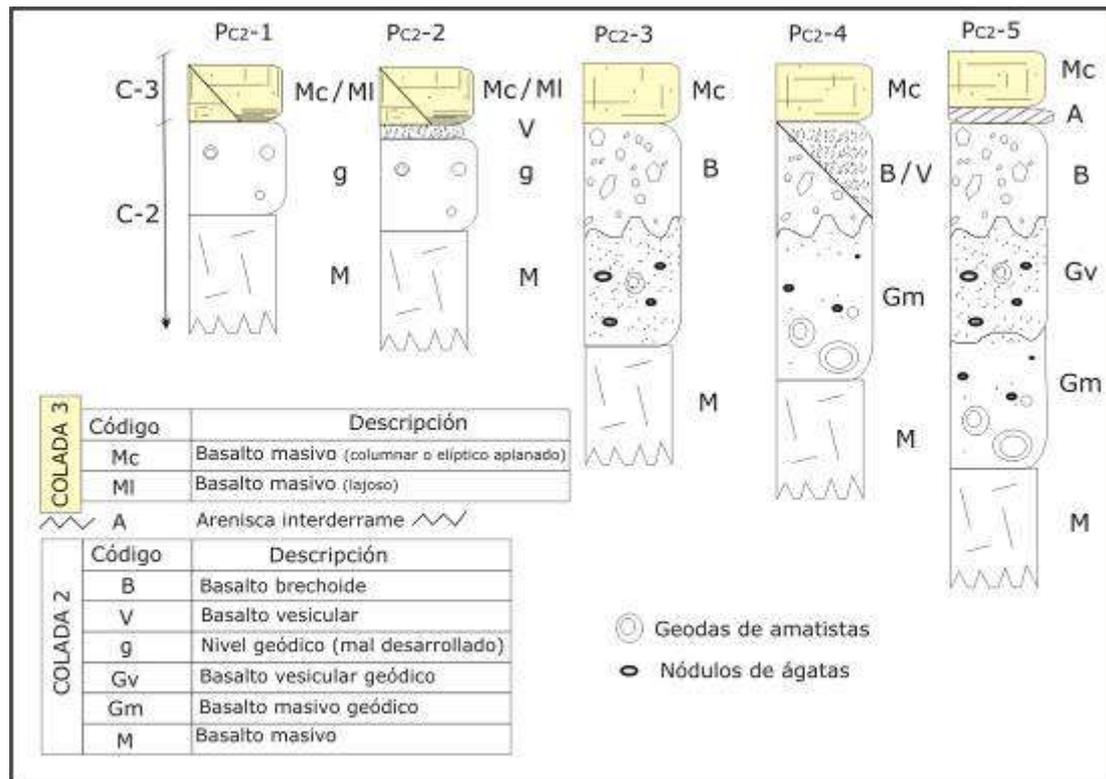


Figura 6.3-3 : Perfiles esquemáticos de la colada 2, en diferentes zonas del Distrito Gemológico Los Catalanes. (ver detalles en el texto)

Colada 3 : Aflora principalmente en los valles de los cursos de agua en la mitad sur y en planos altos hacia el norte del distrito, cubriendo buena parte de la colada 2. En la zona E-NE aparece "enfrentada" con la colada 1 en una relación no muy clara, pero en principio parecería estar por encima de la misma. En general aparece por debajo de la cota altimétrica 200 m. y presentaría una potencia, estimada a través de las curvas de nivel de las cartas topográficas 50 mil, del orden de 30-40 m. La estructura intraderrame presenta las siguientes características (Ver Figura 6.3-4 / Anexo 6):

BASE : 1 m máximo de basalto masivo, grano fino, color gris, con disyunción esferoidal aplanada o columnar poco desarrollada y puntualmente nivel lajoso.

MEDIO : unos 25-35 m de basalto masivo (con frecuentes vesículas centimétricas, vacías y muy dispersas), de grano fino, color gris acero y fracturación muy irregular tanto en espaciado como orientación. En la parte superior se suele desarrollar un nivel macrovesicular, que en algunos

sectores presenta una muy buena calidad de mineralización y continuidad lateral. En estos sectores el espesor máximo observado fue de 8 m, aunque en general no supera los 5 m y es común la disminución abrupta de la potencia en cortos tramos laterales. Al igual que ocurre con la colada 2, la zona rica en geodas y de buena calidad puede presentarse estructurada en dos partes : una superior conformada por un material marrón claro, muy alterado, vesicular y con gran densidad de geodas y otra inferior formada principalmente por un basalto masivo (a veces con pequeñas vesículas dispersas), tenaz, de color gris verdoso, de donde se han extraído megageodas de hasta 4 toneladas. Ver Capítulo 7- Nivel mineralizado 3, para más detalle.

TOPE : Hasta 4-5 m de un basalto vesicular marrón, con densidad de vesículas de entre 10-30 %, de tamaño entre 0,1 y 5,0 cm., vacías o tapizadas de arcillo-minerales y/o basalto brechoide conformado por fragmentos de basalto vesicular (\pm fragmentos de basalto masivo, fragmento de arenisca) en una matriz basáltica-sedimentaria. Ver Figura 6.3-1 y 2 / Anexo 6

La estructura intraderrame, en especial la parte superior, presenta similares variaciones laterales a las ya mencionadas para la colada 2, como disminución o desaparición de niveles superiores. Ver perfiles en Figura 6.3-5

Fueron tomadas algunas muestras de basalto brechoide y masivo para análisis petrográficos, los resultados se detallan a continuación :

Muestra : Fragmentos de basalto vesicular englobados por una matriz muy fina y de color rojizo.

Descripción petrográfica

- Fragmentos : roca formada por fenocristales de plagioclasa de 0,4 mm, piroxenos de 0,3 mm y olivino-iddingsita de 0,3 mm. Matriz formada por plagioclasas, piroxenos y abundante mesostasis marrón (vidrio). Las vesículas están rellenas de cuarzo y calcedonia.
- Matriz : Integrada por una mezcla de granos de arena cuarzosa parcialmente disueltos, calcedonia y vidrio marrón similar a la mesostasis de los fragmentos.

Muestra : Basalto masivo, grano muy fino, color gris a gris verdoso

Descripción petrográfica (en base a 5 láminas delgadas):

Los basaltos correspondientes a la colada 3, son principalmente holocristalinos e hipocristalinos, de textura afanítica y subofítica, ocasionalmente glomeroporfiritica o con vidrio, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno, inmersos en una matriz de igual composición.

Los fenocristales de plagioclasa son de composición An_{55} - An_{60} (Labradorita), de un tamaño variable entre 0.5 y 1.2 mm de eje mayor y suelen presentar zoneamiento, tienen maclado del tipo Carsbald, Albita y combinada Albita-Carsbald.

Los fenocristales de piroxeno son de un tamaño variable entre 0.4 y 0.8 mm de eje mayor y suelen presentar macla simple, ocasionalmente se presenta maclado del tipo "reloj de arena", lo que indica su composición (Augita titanífera).

La matriz de esta colada esta caracterizada por plagioclasa, piroxeno y minerales opacos. Las plagioclasas de la matriz son de composición An_{45} - An_{47} (Andesina) y tamaño variable entre 0.1 y 0.2 mm, mientras que los piroxeno tienen un tamaño promedio de 0.1 mm.

La mayoría de los minerales opacos son puntuales tardíos o esqueléticos tempranos, de tamaño aproximado 0.025 mm.

La mesostasis esta formada por cuarzo y feldespato-K y ocasionalmente Clorita-Oxido-Celadonita ?. Como minerales de alteración se presentan la Iddingsita (Olivino ?), celadonita ? y clorita. Las vacuolas suelen estar rellenas de cuarzo, clorita, calcita, celadonita ? y/o ceolita.

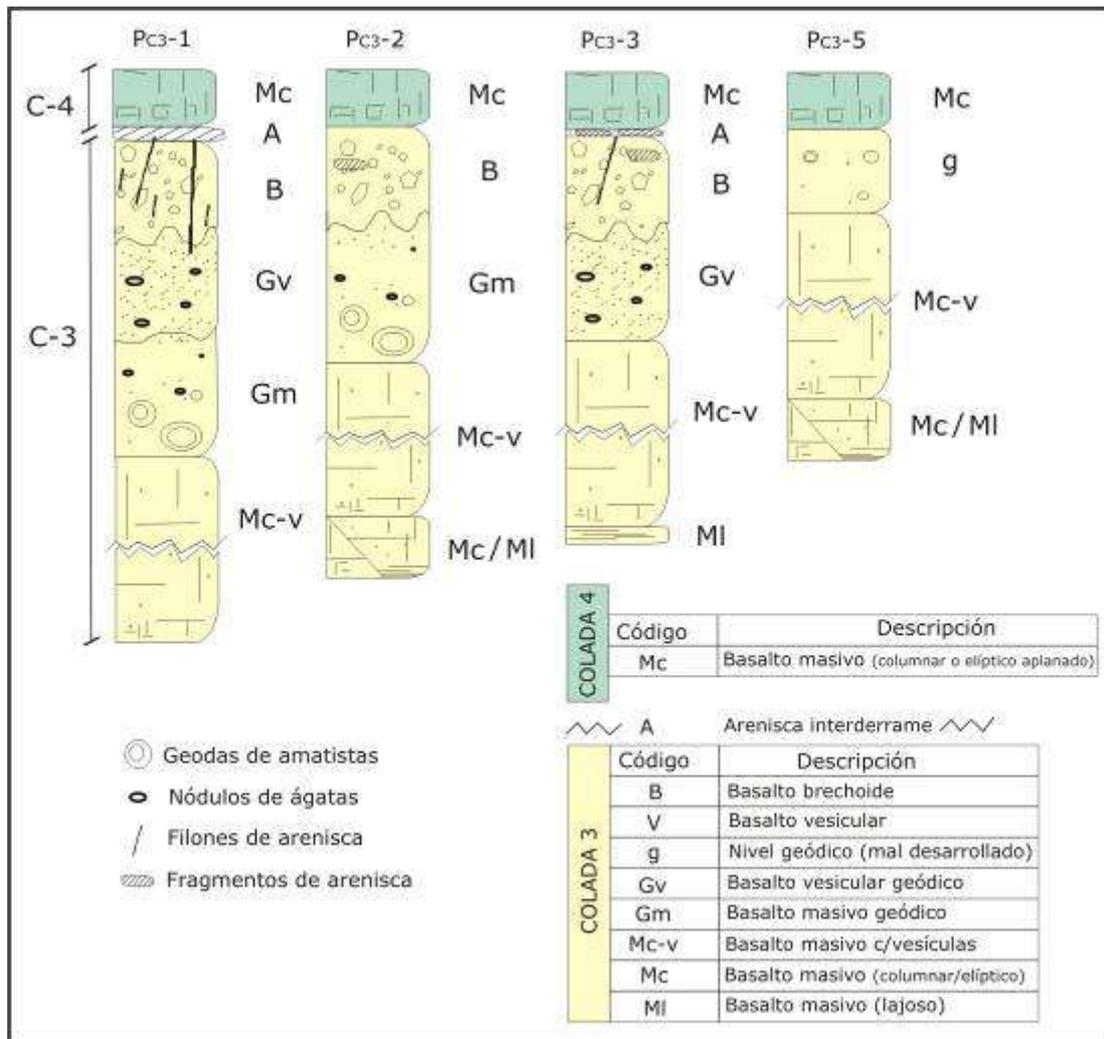


Figura 6.3-5 : Perfiles esquemáticos de la colada 3, encontrados en diferentes zonas del Distrito Gemológico Los Catalanes. (ver detalles en el texto)

Colada 4 : Este derrame aflora extensamente en la mitad sur del distrito minero, cubriendo en esta zona gran parte de la colada 3, a su vez, es cubierto en forma continua por la colada 5 en el extremo SW o en forma parcial por algunos cerros aislados de esta misma colada al sur del distrito. Ver Figura 6.3-4 / Anexo 6

En su límite sur, una buena parte de esta colada se apoya directamente sobre la colada 1, a través de un contacto muy irregular. Dicho contacto parece representar, en algunos sectores, una especie de “barrera” al avance hacia sur de la colada 4.

La cota altimétrica 240 marca, en gran parte de la zona de afloramiento, el tope de la colada, aunque en algunos sectores puede llegar hasta los 280 m. Este ascenso del límite superior de la colada, en muchos casos se da en zonas donde la base del perfil es la colada 1, por lo que podría estar vinculado a un paleorelieve. Aunque no se puede descartar otras causas, como espesamiento o basculamiento del derrame.

La mayor parte de esta colada está conformada por extensos planos sub-horizontales, representados por el nivel masivo medio-inferior y basal. En la zona SE, la colada suele presentar dos planos sub-horizontales separados por un pequeño escalón de no más de 1 m. El plano alto está representado por basalto masivo con macrovesículas de hasta 15 cm, algunas rellenas de calcedonia-cuarzo (geódico poco desarrollado) y el plano bajo por basalto masivo.

El espesor de este derrame, estimado a través de las curvas de nivel de las cartas topográficas 50 mil, está en el orden de 40-50 m.

La estructura intraderrame presenta las siguientes características:

BASE : 1 m de basalto masivo, grano fino, color gris, con disyunción esferoidal aplanada o columnar poco desarrollada.

MEDIO : unos 30-40m de basalto masivo de grano fino, color gris acero a gris verdoso y fracturación muy irregular tanto en espaciado como orientación. En la parte cuspidal de este nivel medio, aparecen en forma constante abundantes vesículas centimétricas a decimétricas, con frecuente relleno silíceo. Este sector mineralizado, en la zona de la Cordillera, desarrolla megageodas rellenas de amatista, con tamaños de hasta 2 metro de largo, de forma principalmente cilíndrica y disposición vertical. El espesor del nivel geódico está en el entorno de los 2 m, aunque al igual que

la colada 2 y 3 es frecuente el adelgazamiento en cortos tramos laterales. Ver Capítulo 7- Nivel mineralizado 4 , para más detalle.

TOPE : hasta 2-3 m de un basalto vesicular y/o brechoide.

El basalto vesicular está conformado por un material marrón, grano fino, con espesor de hasta 2 m, aunque en general no supera los 0,5 m. Presenta una alta densidad de vesículas (entre 10 a 30 %) de tamaño que oscila entre 0,2 a 4,0 cm y de formas elípticas, esféricas e irregulares. En la mayoría de los casos están vacías o rellenas/tapizadas de arcillo minerales, calcita, cuarzo y ceolitas.

Por otra parte, el basalto brechoide esta formado por fragmentos centi a decimétricos de basalto vesicular y en forma subordinada fragmentos de basalto masivo. La matriz de esta brecha está representada generalmente por un material afanítico, rojizo, conformada solo con material basáltico o mezclado con arenisca. Ver Figura 6.3-2 / Anexo 6.

Esta estructura intraderrame, en especial la parte superior, no es uniforme en toda la extensión de la colada, siendo común variaciones laterales como las mencionadas para las coladas anteriores. Ver perfiles en Figura 6.3-6.

Fueron tomadas algunas muestras de basalto brechoide y masivo para análisis petrográficos, los resultados se detallan a continuación :

Muestra : Fragmentos de basalto vesicular, englobados a manera de cemento, por un material de grano muy fino de color rojo.

Descripción petrográfica

- Fragmentos : listones de plagioclasa de 0,1 a 0,15 mm y en forma subordinada piroxenos y olivinos iddingsitizados. La mesostasis está constituida por un material hemi-vítreo color marrón, posiblemente vidrio. Las vesículas están rellenas de calcedonia, calcita y celadonita ?.
- Matriz : formada por una mezcla de granos de arena cuarzosa y vidrio marrón similar a la mesostasis de los fragmentos.

Muestra : Basalto masivo, grano fino color gris a gris verdoso.

Descripción petrográfica (en base a 10 láminas delgadas):

Los basaltos correspondientes a la colada 4, son principalmente Holocristalinos y ocasionalmente Hipocristalinos, de textura afanítica y subofítica, con fenocristales principalmente de plagioclasa y piroxeno.

Los fenocristales de Plagioclasa son de composición A_{n55} - A_{n60} (Labradorita), de tamaño variable entre 0.4 y 0.8 mm de eje mayor y suelen poseer maclado del tipo Carsbald, Albita y combinada Albita-Carsbald y en algunos casos presentan zonaciones.

Los fenocristales de piroxeno son de composición Augita y Augita titanífera principalmente (por presentar macla reloj de arena) y de tamaño variable entre 0.3 y 0.7 mm de eje mayor.

En algunos casos se presentan fenocristales de Olivino, de tamaño variable entre 0.3 y 0.6 mm.

La matriz de esta colada está caracterizada por plagioclasa, piroxeno y minerales opacos. Las plagioclasa de la matriz son de composición A_{n44} - A_{n48} (Andesina) y de tamaño promedio 0.1 mm.

En general los minerales opacos son puntuales tardíos.

La mesostasis es de cuarzo y feldespato-K principalmente y ocasionalmente formada por Clorita-Oxido.

Como mineral de alteración se presenta principalmente iddingsita y secundariamente calcita, serpentina y celadonita ?.

En general el masivo de esta colada no posee vacuolas y las pocas que aparecen se presentan rellenas de cuarzo, calcita y ceolita.

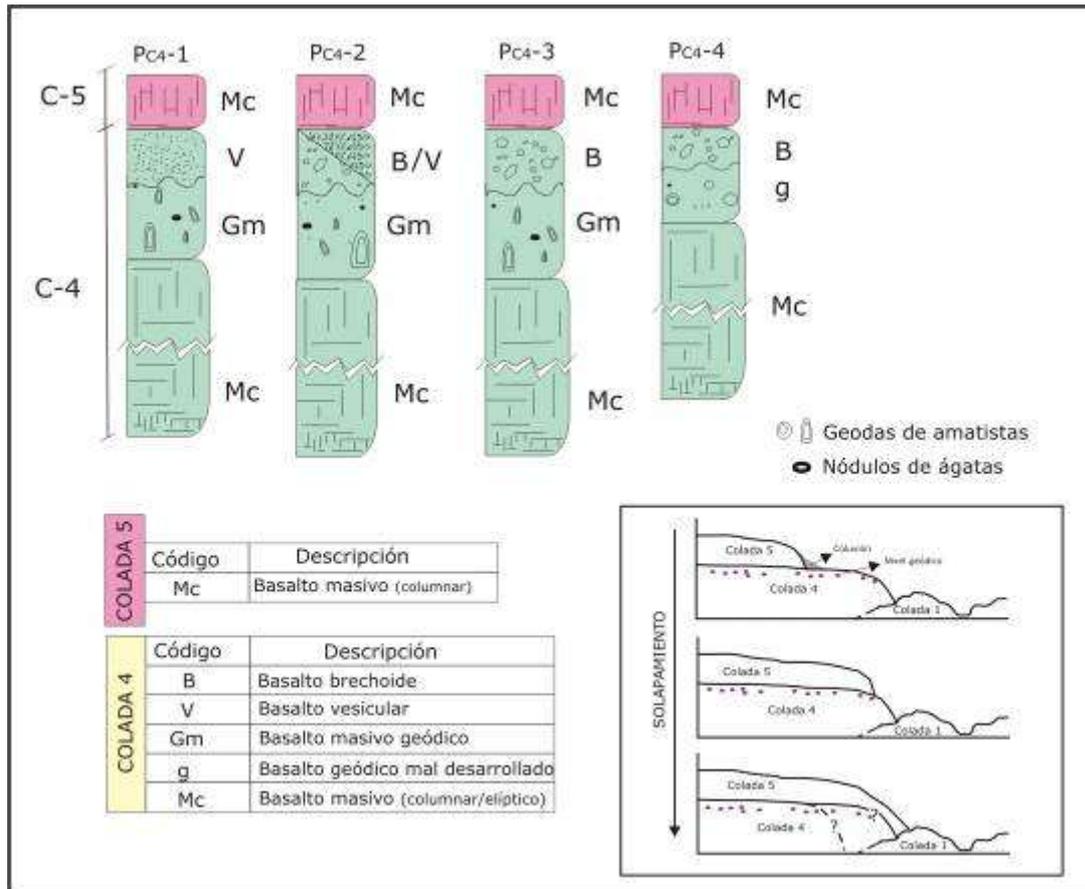


Figura 6.3-6 : Perfiles esquemáticos de la colada 4, encontrados en diferentes zona del Distrito Gemológico Los Catalanes. En el recuadro se muestra en forma esquemática la relación espacial entre las coladas 1, 4 y 5 en la zona sur del distrito (ver detalles en el texto)

Colada 5 : Este derrame aflora en forma continua en el borde S-SW del distrito en donde aparece el perfil completo . En el resto del área constituye la parte cuspidal (a manera de “casco”) de muchos cerros-cordilleras aislados y está representada por el nivel masivo medio-basal.

Se apoya generalmente sobre la colada 4, aunque en algunos sectores llega a solapar a esta colada y apoyarse directamente sobre la colada 1. Donde se produce este solapamiento o el borde de la colada 5 está muy próximo a solapar a la colada 4, el relieve es muy abrupto, como ocurre en la ladera E del Cerro San Gregorio o en la ladera S del Cerro del Zorro. Ver recuadro en Figura 6.3-6

En general el tope del derrame se ubica entre las cotas altimétricas de 280 y 300 m., con una potencia estimada, a través de las curvas de nivel de las cartas topográficas 50 mil, en el orden de los 50 m.

La estructura intraderrame presenta las siguientes características:

BASE : 1 a 2 m de basalto masivo, grano fino, color gris, con disyunción columnar bien desarrollada y piso frecuentemente lajoso.

MEDIO : unos 40-45 m de basalto masivo de grano fino, color gris acero y fracturación muy irregular tanto en espaciado como orientación. En algunos perfiles se observó, en la parte media de la colada una fracturación densa que genera prismas angostos, en algunos casos con caras curvas, de orientación vertical, horizontal y radial, que se podría corresponder con lo que se conoce en la literatura como nivel de entablature.

TOPE : hasta 1-2 m de un basalto vesicular marrón, con vesículas vacías o tapizadas de arcillo-minerales o rellenas de calcita y/o basalto brechoide : fragmentos de basalto vesicular en una matriz basáltica. Ver Figura 6.3-4 / Anexo 6

Fueron tomadas algunas muestras de basalto masivo para análisis petrográficos, los resultados se detallan a continuación :

Muestra : Basalto masivo, grano fino color gris a gris verdoso

Descripción petrográfica (en base a 6 láminas delgadas):

Los basaltos correspondientes a la colada 5, son principalmente Holocristalinos, de textura afanítica y glomeroporfirítica con fenocristales de plagioclasa y piroxeno principalmente, que se encuentran inmersos en una matriz de igual composición.

Los fenocristales de plagioclasa son de composición An_{50} - An_{56} (Labradorita-Andesina), de tamaño variable entre 0.5 y 0.9 mm de eje mayor y suelen poseer maclado del tipo Carsbald, Albita y combinada Albita-Carsbald.

Los fenocristales de piroxeno son de composición Augita y Augita titanífera (debido a que presentan macla de reloj de arena) y de tamaño variable entre 0.3 y 0.7 mm de eje mayor. Ocasionalmente se presentan fenocristales de Olivino, de tamaños variables entre 0.3 y 0.5 mm.

La matriz de esta colada esta caracterizada por plagioclasa, piroxeno y minerales opacos. La plagioclasa de la matriz presenta un tamaño promedio de 0.1 mm y el piroxeno de 0.05 mm.

La mayoría de los minerales opacos son automorfos, tempranos. Como minerales de alteración se presentan principalmente clorita y celadonita ? en abundancia.

En general el masivo de esta colada no posee vacuolas y las pocas que aparecen se presentan rellenas de cuarzo, calcita y ceolita.

Colada 6 Solo aparece su parte basal, en general por encima de cotas altimétrica 280 m., exclusivamente en el extremo SW del Distrito, en especial en las zonas altas de la Cuchilla de Belén. Presenta espesores mínimos del orden de 20-30 m, formado por un basalto masivo de grano fino, gris-rojizo.

Fue tomada una muestra del basalto masivo basal para análisis petrográficos, los resultados se detallan a continuación :

Muestra : Basalto masivo, grano fino color gris rojizo

Descripción petrográfica (en base a 1 lámina delgada):

La parte basal de la colada 6, es hipocristalinos a hipohialinos (con vidrio), de textura afanítica y ofítica, totalmente ausente de fenocristales.

La matriz de esta colada esta caracterizada por plagioclasa, piroxeno, vidrio y minerales opacos.

Las plagioclasa de la matriz son de composición An_{43} (Andesina) y de tamaño promedio 0.12 mm, mientras que los piroxeno tienen un tamaño promedio de 0.05 mm.

En general. los minerales opacos son automorfos, tempranos.

Como mineral de alteración se presenta principalmente la Clorita.

La colada posee vacuolas que en general se presentan vacías y ocasionalmente rellenas de Cuarzo y/o Clorita.

Areniscas interderrame : En la parte superior de algunos derrames es frecuente la presencia de material sedimentario, aparentemente en la gran mayoría de los casos de procedencia eólica y de tamaño granulométrico arena.

Este material es conocido en la literatura como arena "intertrapp" y se deposita en períodos de "tranquilidad efusiva", entre derrame y derrame.

En función de su geometría y disposición se pueden distinguir varios tipos :

- Cuerpos de arena, de longitud, en la mayoría de los casos, menor a los 10 m, ancho visible menor a los 2 m y potencia aflorante de hasta 2 m (en perforaciones realizadas en la zona los cuerpos atravesados presentan potencias de hasta 4 m).
- Arena relleno de fracturas (filones de areniscas) verticales a subverticales, de espesor de hasta 20 cm, que suelen estar alojados en la zona del tope de la colada, pero es común que lleguen hasta el nivel geódico. Se han observado filones rectos, de paredes planas y contactos netos y cuerpos "filoneanos" muy contorsionados, rotos y de espesor variable.
- Fragmentos de arenisca, de tamaño en general centimétrico, "inmersos" dentro del nivel basáltico superior, conformando parte del "esqueleto" de la brecha ígnea-sedimentaria.
- Granos de arena, en proporción variable, en general mezclados con material volcánico formando parte de la matriz de las brechas.

Los colores son muy variados, predominando ampliamente los tonos grises claros y rojo pálido a rosado, siendo frecuente una arenisca de color verde.

En la gran mayoría de los casos aparece fuertemente cementada, posiblemente por efecto térmico de la lava (arenisca "frita"). A muestra de mano se presenta como una roca masiva, afanítica, muy tenaz, de brillo vítreo y fractura concoidea. En algunos cuerpos potentes puede aparecer sectores con arenisca con grano visible a simple vista, con niveles de minerales densos y estructuras sedimentarias primarias. Ver Figura 6.3-7 / Anexo 6.

Se tomaron algunas muestras para observación microscópica con el siguiente resultado : Se trata de una arena bien seleccionada, cuarzosa con puntuales granos de feldespato. Los granos están bien redondeados y son de tamaño entre 0,3 y 0,1 mm. Se observaron granos engolfados,

parcialmente disueltos y con bordes de disolución. El cemento está formado por microcristales de cuarzo y calcedonia posiblemente reprecipitado y en forma muy subordinada por carbonato.

La disposición y cantidad de este material sedimentario varía entre las diferentes coladas :

- Sobre la colada basal, se han encontrado arena en forma de cuerpos lenticulares poco potentes y granos de arena formando la matriz de una brecha mixta. En la zona de Rincón de Pacheco se observaron abundantes y potentes cuerpos con estratificación cruzada, representando posibles paleodunas.
- La colada 2 presenta escasa cantidad de arenisca interderrame, salvo un importante cuerpo localizado en el tramo final de la Zanja de Los Talas.
- En colada 3 presenta en forma casi constante arena en todas las formas anteriormente descritas (lentes, filones, fragmentos y granos).
- Sobre la colada 4 no se observó arena interderrame, salvo como granos de cuarzo formando la matriz sedimentaria-ígneas de la brecha del tope del derrame.
- Sobre la colada 5 solo fue observado un pequeño nivel de arenisca de pocos centímetros de espesor.

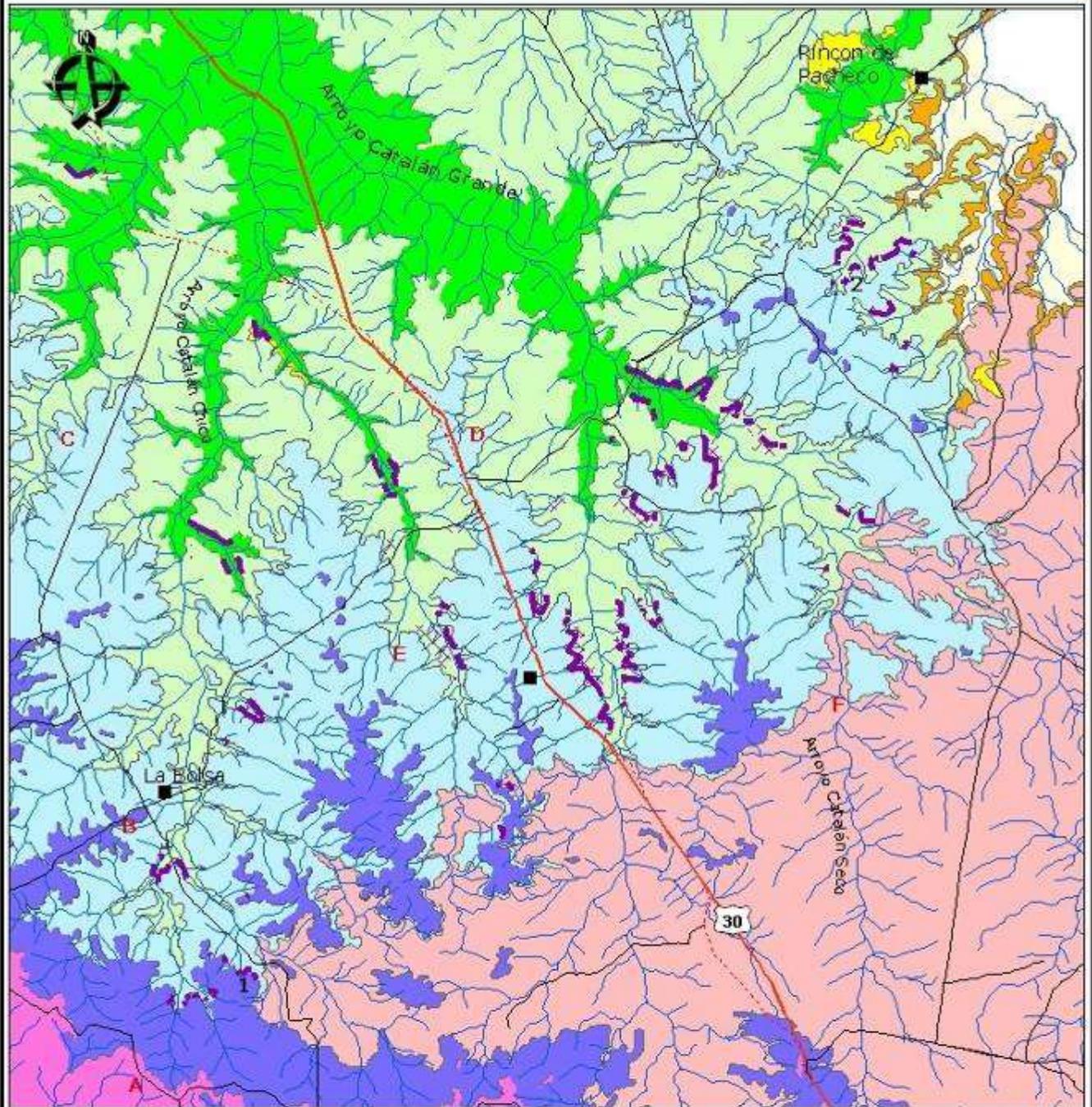
Otras Unidades

1. Numerosos depósitos sedimentarios actuales y sub-actuales fueron reconocidos como : a. Coluviones formados por material grosero (fragmentos de basalto y geodas) en una matriz arcillo-arenosa, asociado en muchos casos a bordes de coladas y b. Aluviones : material arenoso-arcilloso y grava en proporción variable, asociada a los principales cursos de agua. En general estos cuerpos son de escasa potencia y desarrollo, por lo que se optó por no representarlos en la carta geológica por un motivo de escala y simplificación de la misma. Salvo algunos depósitos importantes, como los asociados a la planicie del Río Cuareim.

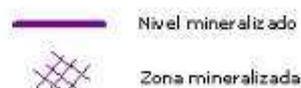
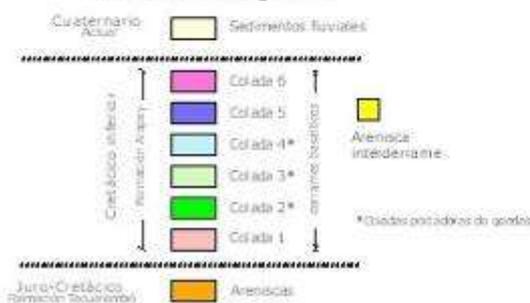
2. En extremo NE del área cartografiada, fue separada una angosta faja de areniscas pertenecientes a la formación Tacuarembó, cubierta al W por la colada basal y la colada 3 y al E por sedimentos aluviales.

Anexo 6

MAPA GEOLÓGICO DEL DISTRITO GEMOLÓGICO LOS CATALANES

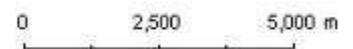


Columna Estratigráfica



Área para estudios de detalle - Fase II

- 1: MINA LA CORDILLERA
- 2: MINA VALLE DEL PUMA



MIEMDINAMIGE
Ministerio de Minería y Energía

DINAMIGE
División Geología
Proyecto Agatas y Amatistas

Figura 6.2-1 : Carta Geológica del Distrito Gemológico Los Catalanes

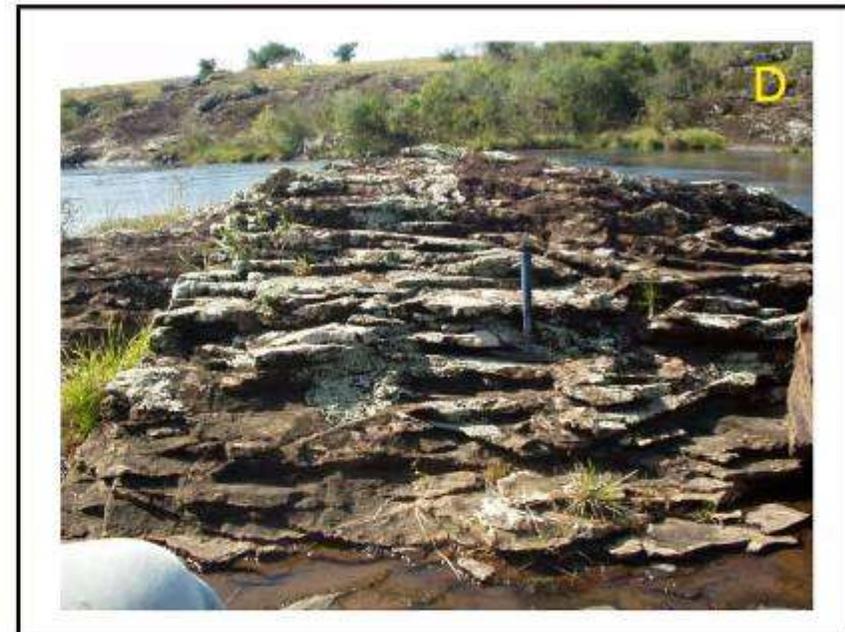


Figura 6.3-1: Fotos A, B y C afloramientos de la colada 1. Fotos A afloramiento fuertemente orientado de la facie masiva-bandeada. Foto B típica asociación entre una facie masiva, afanítica, muy tenaz (1) y una facie altamente vesicular menos resistente (2). Foto C detalle de la roca afanítica (facie 1) mostrando el bandeado de flujo. Foto D fracturación horizontal densa (disyunción lajosa) en la base de la colada 3.

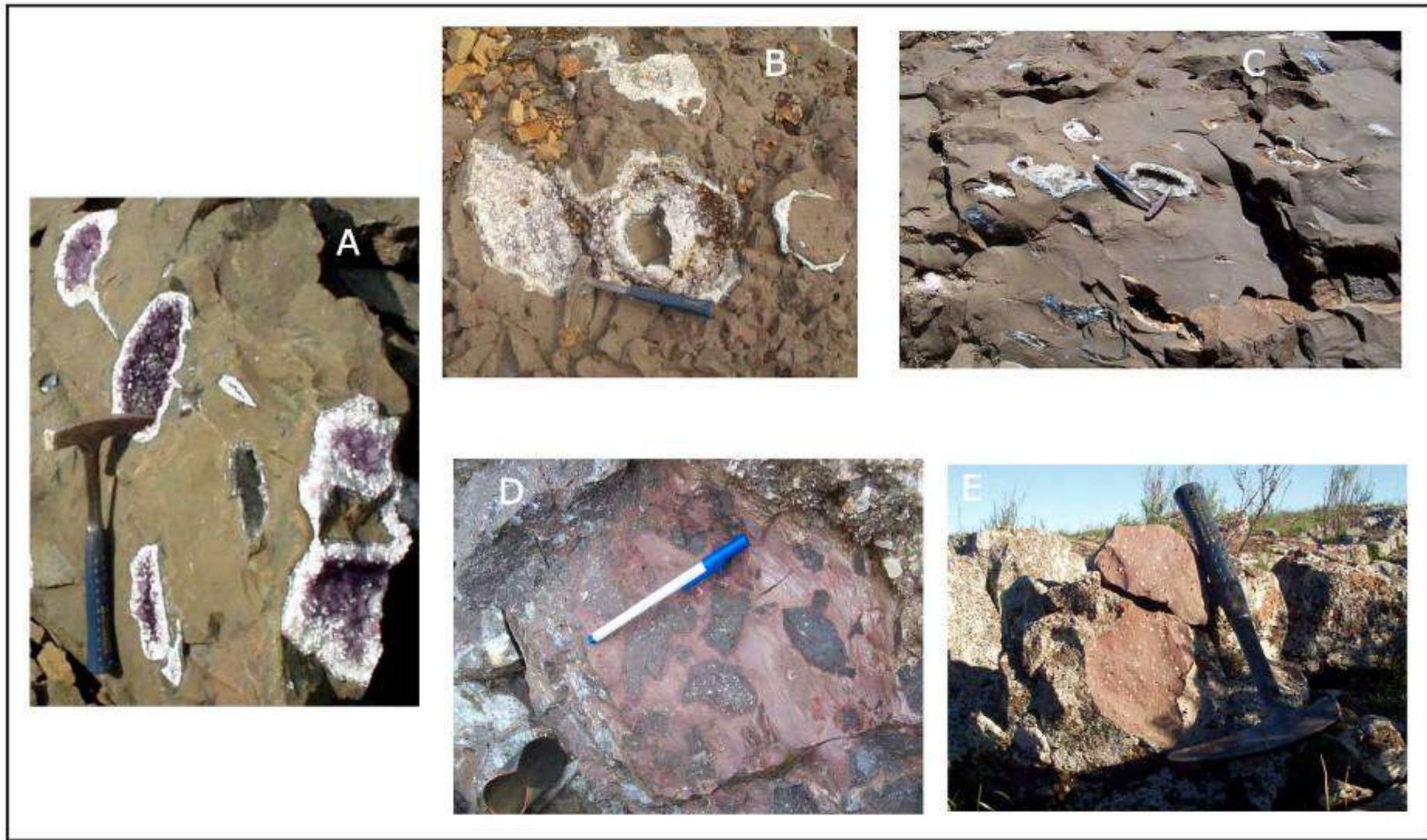


Figura 6.3-2 : Litologías características de la zona superior de los derrames mineralizados Fotos A, B y C masivo geódico Foto D basalto brechoide (fragmentos de basalto vesicular en una matriz de basalto+arena) Foto E nivel de basalto vesicular

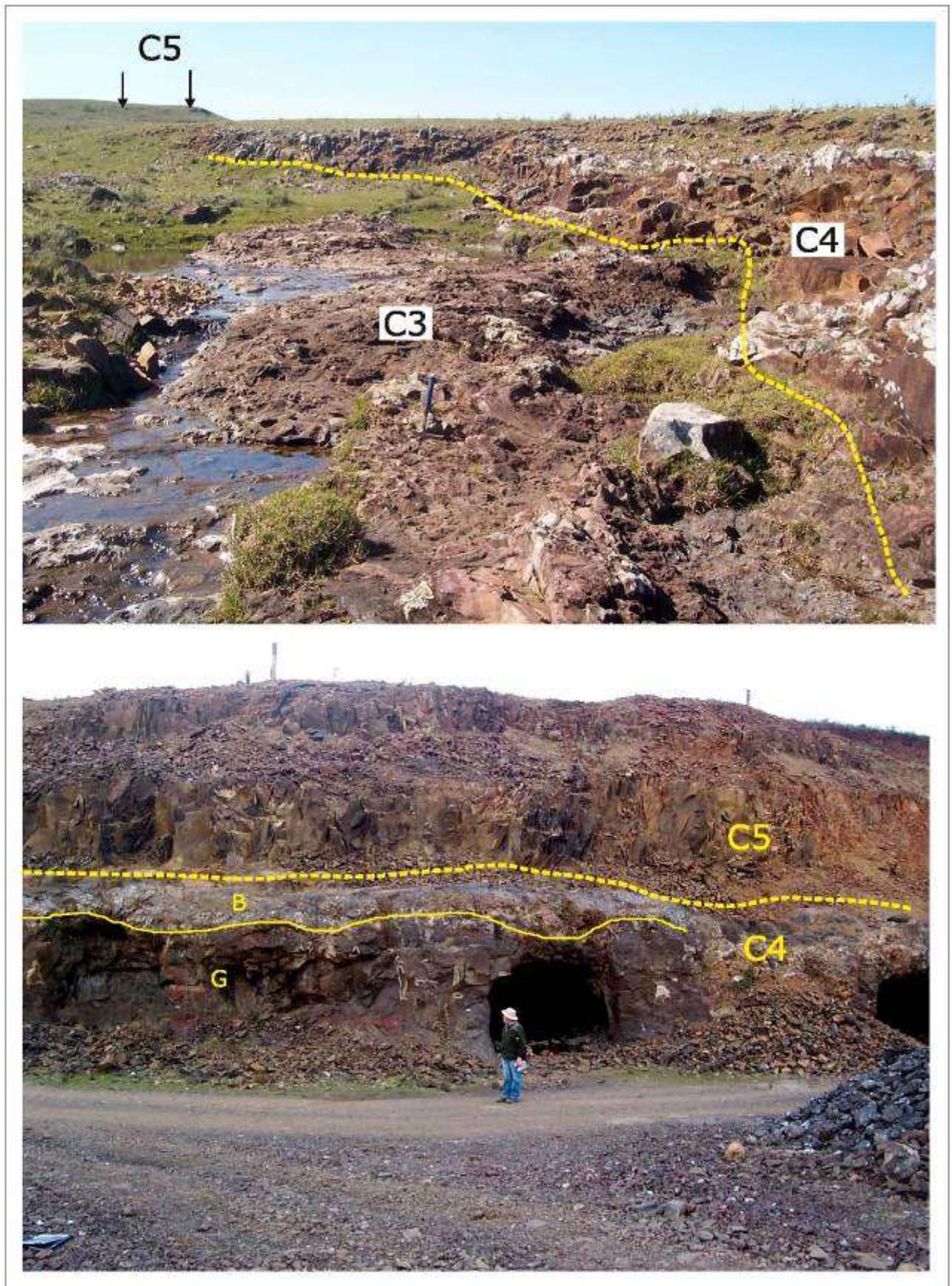


Figura 6.3-4 : Foto superior contacto entre tope de la colada 3 formada por basalto vesicular con fragmentos y filones de arena y masivo basal con esbozo de disyunción columnar de colada 4. Al fondo y a la izquierda de la imagen contacto de colada 4 y masivo basal de colada 5 (ver flechas).
 Foto inferior : Contacto tope de la colada 4 (G= geóxico + B=brechoide) con base de colada 5 (basalto masivo con buen desarrollo de la disyunción columnar.)

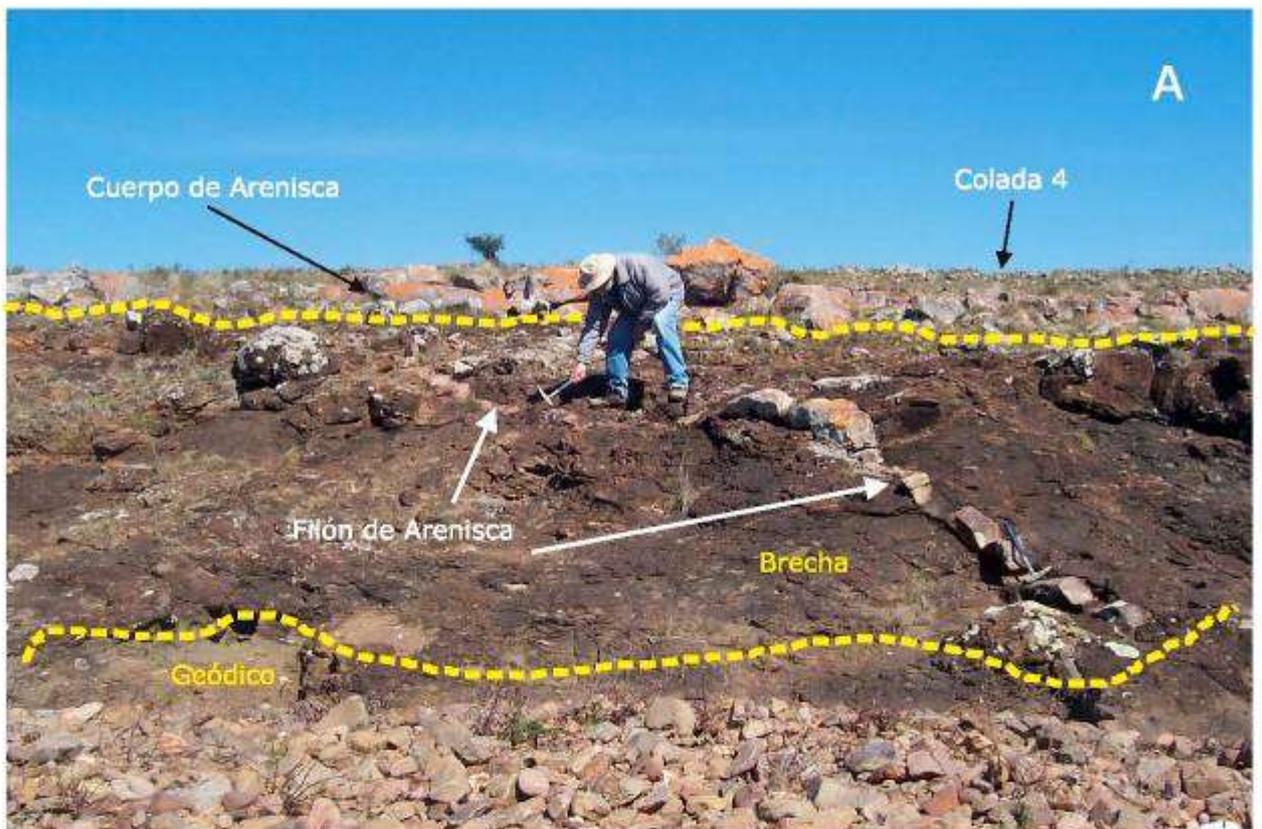


Figura 6.3-7 : Relación arenisca interderrame y colada. **Foto A** : Se observa un perfil del tope de la colada 3, con cuerpo de arena de 1m de potencia encima de la misma y un filón de arenisca descendente que atraviesa el basalto brechoide/vesicular y llega hasta el basalto geódico. Encima de la arenisca aflora la base de la colada superior (colada 4). **Fotos B y C**: Filones "contorsionados" y fragmentos de arena dentro de un basalto vesicular. **Foto D**: Otro filón de bordes paralelos y neto e intruyendo al basalto vesicular geódico de la colada 3. **Foto E** : Potente cuerpo de arena (2 m aflorante) sobre la colada 3, con granos a la vista y estratificación plano-paralela.

7 YACIMIENTOS Y MINERALIZACION EN EL DGLC

7.1 Características básicas de los yacimientos

El estudio en profundidad de los yacimientos del DGLC está programado realizarlo posteriormente, durante las Fases II y III del presente Proyecto. Ver Figura 1.1-2 en el capítulo introductorio.

De todas maneras, se han efectuado un gran número de observaciones de las zonas mineralizadas y su entorno geológico inmediato, durante el relevamiento de las labores mineras. Toda esta información recogida nos permite realizar una primera aproximación a la caracterización básica y formulación de un modelo descriptivo o de trabajo de los yacimientos del distrito minero en estudio.

De las 6 coladas identificadas y separadas en el DGLC, 3 de ellas presentan un nivel macrovesicular superior con frecuente relleno silíceo (ágata/calcedonia y cuarzo/amatista) y en algunos sectores, donde la calidad y la cantidad lo permiten, soportan una actividad extractiva.

Los 3 niveles mineralizados o geódicos (niveles mineralizados 2, 3 y 4) se localizan sistemáticamente en la parte superior de las coladas portadoras (coladas portadoras 2, 3 y 4), por debajo de un nivel vesicular/brechoide que marca el fin del derrame.

Dichos niveles mineralizados comparten varias características en común (en especial los niveles mineralizados 2 y 3) y presentan algunas diferencias que parecen ser más importantes cuando se compara entre si, los niveles 3 (o 2) con el nivel 4.

A continuación describiremos las características de cada nivel, en base a las observaciones preliminares realizadas durante el relevamiento de las labores mineras :

NIVEL MINERALIZADO 3

El nivel mineralizado localizado en la parte superior de la colada portadora 3, a cotas altimétricas en el entorno de los 200-190 m, es el más intensamente explotado del distrito y se han relevado entre zonas de cavas y frentes unas 130 labores mineras. Es o fue explotado en los valles de los Arroyos Catalán Grande, Catalán Chico, Catalán Seco, Cañada Totora, Zanjas de Los Talas, de la Gruta Fea, del Quebracho y cursos de agua subsidiarios.

El nivel mineralizado (basalto geódico) presenta espesores muy variables, que pueden situarse entre <0,5 a 7 m. En los 108 frentes relevados sobre la colada 3, el nivel mineralizado máximo osciló entre 1,5 y 7 m, con un promedio ubicado en el entorno de los 2 m. Ver Figura 7.1-1.

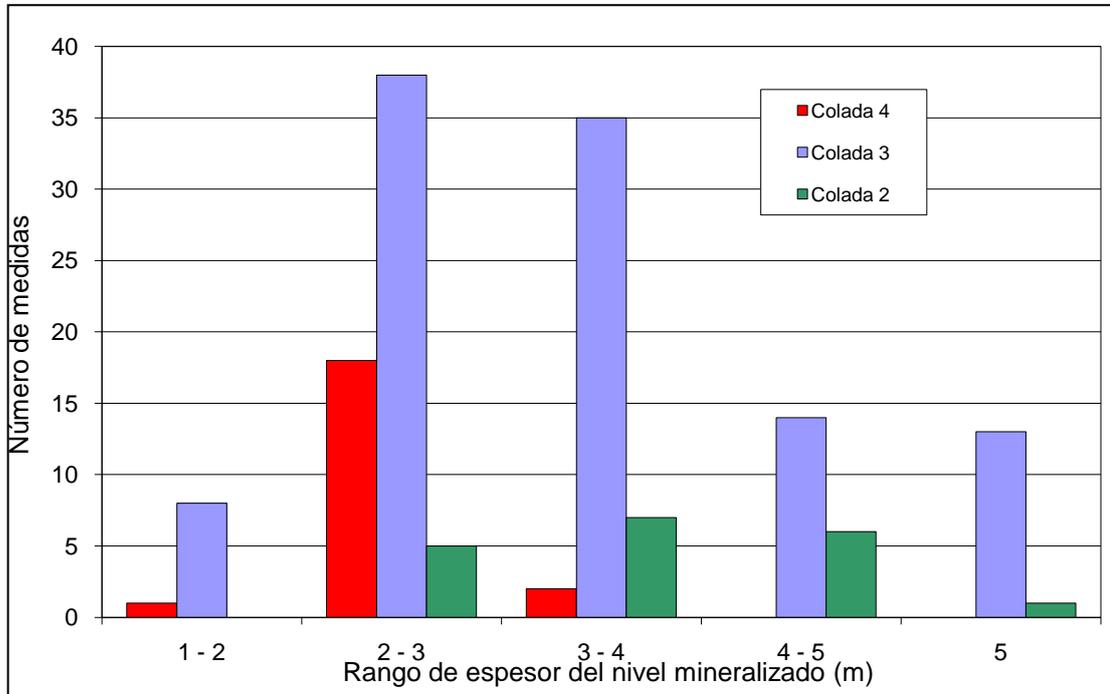


Figura 7.1-1 : Variación del espesor máximo de los niveles mineralizados medido en 148 frentes, sobre las 3 coladas portadoras

El nivel geódico de esta colada suele presentarse estructurado en 2 partes, que puede o no estar presente en un mismo perfil :

- Una parte superior, con una fuerte alteración meteórica y frecuentes padrones de fracturación sub-horizontal a veces muy apretados. La roca es comúnmente de color marrón claro, con alta densidad de vesículas y frecuente estructura de flujo.

En esta parte superior parece que predominaran las geodas total o casi totalmente rellenas de calcedonia y/o ágata. Es muy común que algunas geodas presenten una pequeña zona central, que puede estar totalmente vacía o tapizada de microcuarzo o relleno de macrocuarzo incoloro a violeta, en general con cristales fuertemente intercrecidos. La amatista en forma de pequeñas geodas y fragmentos (lajas), aparece en general en menor porcentaje, con cristales comúnmente pequeños.

El tamaño de las geodas frecuentemente no supera los 50 cm de eje mayor, siendo los tamaños observados más comunes de entre 10 a 30 cm. Las formas predominantes son esféricas y elípticas achatadas.

- La parte inferior está conformada por roca sin alteración meteórica, en general muy tenaz, con escasas fracturas y de color gris acero, gris verdoso o verde. El basalto es de grano muy fino y con escasas vesículas dispersas (basalto masivo) aunque puede presentar zonas con mayor densidad, en especial hacia el contacto con la parte superior. Son frecuente la presencia de megageodas, rellenas de amatista, que pueden llegar a pesar hasta 4 toneladas y geodas rellenas de ágata-calcedonia de hasta 350-400 kg.

En general las geodas de amatistas presentan formas esféricas, elipsoides e irregulares, frecuentemente con disposición horizontal (eje mayor paralelo al piso del laboreo) y tamaños más comunes de 30/50 hasta 200 Kg. (0,30 a 1,5 m). Es común la presencia de geodas sin relleno, al lado de las geodas mineralizadas, que los mineros denominada "barrereros". Estas macrovesículas se presentan tapizadas de arcillo minerales o calcedonia y cuarzo microcristalino de hábito botroidal. Pueden alcanzar tamaños métricos y su forma es en general irregular. Ver Figura 7.1-2 / Anexo 7

En esta parte del nivel mineralizado se han observado frecuentes sectores con importantes cambios de la textura-color de la roca, apareciendo el basalto de color verde y fácilmente desagregable, que podría corresponder a sectores con alteración hidrotermal.

Es común la presencia de angostas zonas, formadas por fragmentos de basalto cementados por sílice, a manera de hidrobrechas. Estas posibles brechas hidráulicas a veces aparecen asociada a mineralizaciones (cavidades rellenas de calcedonia-cuarzo-amatista), a fracturas rellenas de calcedonia o a zonas con abundante pirita y arcillo-minerales verdes. Figuras 7.1- 3 / Anexo 7

Cuando aparecen en un mismo perfil, el contacto entre las partes mineralizadas, superior e inferior, detallado anteriormente es en general neto y frecuentemente subhorizontal o suavemente curvo.

Por otro lado el contacto nivel mineralizado-nivel superior estéril (basalto brechoide y/o vesicular) se presenta en general irregular a muy irregular con frecuentes variaciones en cortos tramos laterales del espesor de ambos niveles. Esto se traduce que en algunos sectores del yacimiento el nivel

superior estéril (en general nivel brechoide) “descienda” hasta 2-3 m generando zonas improductivas. Este “descenso” se ha observado en varios frentes así como en profundidad dentro de una túnel de extracción. Ver Figura 7.1-4 y 5 / Anexo 7

A escala del perfil del laboreo, el nivel mineralizado esta recubierto por un nivel vesicular estéril o más comúnmente por una brecha basáltica en general mixta (fragmentos de basalto vesicular y fragmentos de arenisca cementados por basalto y/o arenisca). Rematando el perfil, es muy común la presencia de arenisca interderrame, tanto en forma de lentes, como de “filones”. Ver Figuras 7.1-6 y 7 / Anexo 7.

NIVEL MINERALIZADO 2

El nivel mineralizado localizado en la parte superior de la colada portadora 2, a cotas altimétricas en general menores a 170 m, es explotado en algunas zonas del distrito y se han relevado entre zonas de cavas y frentes unas 36 labores mineras. El nivel es o fue explotado en los valles de Arroyos Catalán Chico, Catalán Seco, Cañada de la Aruera; Zanjias de Los Talas y curso de agua subsidiarios.

El nivel mineralizado presenta espesores muy variables. En los 19 frentes relevados sobre la colada 2 este nivel presentaba potencias máximas entre 2 y 5 m, con un promedio ubicado en el entorno de los 3 m. Ver Figura 7.1-1.

En general presenta características similares a las ya detalladas para el nivel mineralizado de la colada portadora 3, aunque por ahora los resultados deben ser tomados como preliminares ya que se realizaron muy pocas y rápidas observaciones.

Algunas posibles diferencias con el nivel mineralizado 3 serían:

- Una frecuente fracturación horizontal, espaciada a menos de 1 m, en el nivel geódico masivo a masivo-vesicular inferior
- Mayor densidad de vesículas y geodas, pero de menor tamaño. Serían inexistentes o raras las geodas métricas.
- Frecuente forma elíptica achatada, con el eje mayor horizontal de las geodas, en especial las menores.
- Abundante presencia de carbonato.

- Presencia de geodas con borde de calcedonia muy fino y cuarzo microcristalino de color gris claro.
- Escaso desarrollo (en algunos casos inexistente) del nivel estéril superior de la colada (nivel vesicular y/o brechoide).
- Mucho menor cantidad de cuerpos y filones de arenisca.

Ver Figura 7.1-6 / Anexo 7.

NIVEL MINERALIZADO 4

El nivel mineralizado, localizado en la parte superior de la colada portadora 4, es explotado actualmente solo en una pequeña zona del distrito y se han relevado sobre este nivel 36 labores mineras. El nivel es o fue explotado en zonas altas (generalmente a cota altimétrica 240 m) de la cuenca de la cañada Totorá (Zona de la Cordillera) y en zonas altas de la cuenca media-alta de la zanja de los Talas. En esta última zona las labores serían principalmente de carácter exploratorio.

La potencia del nivel mineralizado presenta espesores máximos bastante constantes, nunca mayor a los 3 m. y con un promedio de 2 m. Ver Figura 7.1-1.

Presenta varias diferencias con los niveles mineralizados anteriormente descritos. Una de la que más llama la atención es la ausencia de la parte geódica superior, altamente vesicular, muy alterada y que puede alcanzar varios metros de espesor, que aparece frecuentemente en los niveles mineralizados 2 y 3. En cambio, la mineralización de la parte superior de la colada 4 se restringe a un nivel conformado por basalto masivo, de grano fino, en general con muy escasas vesículas dispersas, muy tenaz, de color gris a gris verdoso. Esto se traduce que todas las explotaciones son en roca "dura" y actualmente solo por métodos subterráneos.

Otro aspecto, distintivo del nivel mineralizado 4, es que la enorme mayoría de las geodas métricas son de forma cilíndrica, en general con la base más ancha y se disponen en posición vertical en el yacimiento.

El tamaño promedio de la geodas de este nivel está en el entorno de los 50 a 200 kg., pero con frecuente grandes geodas de varios cientos de kilos. En cambio parecería que no existen megageodas de 1000 kg. o más como han sido encontradas en el nivel mineralizado 3. Ver Figura 7.1-2 / Anexo 7

La cantidad de ágata es mucho menor cuando es comparada con los yacimientos de los niveles mineralizados 2 y 3, aunque esto puede ser reflejo de la ausencia en el nivel mineralizado 4, como ya se mencionó, de la parte geódica superior muy alterada, que si aparece en los otros niveles.

Otra característica distintiva mencionada por algunos autores, es que los cristales de amatistas del nivel mineralizado 4 serían más grandes y menos oscuros que los encontrados en los otros niveles mineralizados. Además parecería que los cristales de color pálidos responderían mejor al "quemado" (dando más y mejor picos y lajas de falso citrino) que los cristales de los niveles mineralizados 2 y 3. Esto solo puede ser corroborado a través de estudios comparativos con un importante número de observaciones, por lo que por ahora estas afirmaciones solo debe tomarse como una posibilidad.

Otra diferencia en el perfil de los frentes que explotan el nivel mineralizado 4, es la ausencia total de lentes o filones de arenisca interderrame, que sin embargo son muy frecuentes y hasta constantes sobre y atravesando el nivel mineralizado 3.

Al igual que en los otros niveles mineralizados, también el contacto nivel mineralizado-nivel superior estéril (basalto brechoide y/o vesicular) se presenta en general irregular a muy irregular, con frecuentes variaciones en cortos tramos laterales de los espesores de ambos niveles. Ver Figuras 7.1-8 / Anexo 7

Otra característica que compartiría con los otros niveles mineralizados es la irregular distribución espacial de la mineralización.

En lo que respecta a este aspecto, uno de los más importantes del yacimiento, solo tenemos información indirecta, proporcionada por la experiencia de los mineros al ir avanzando en la explotación de los túneles en las labores subterráneas. Todos los mineros entrevistados y que explotan cualquiera de los tres niveles mineralizados, concuerdan en que el yacimiento aparece como conformado por una alternancia de zonas de "fallas" y "manchas" al ir progresando la extracción. Dicho de otro modo en profundidad, al ir avanzando horizontalmente dentro del cuerpo mineralizado, se alternan zonas donde existen geodas de buena calidad ("manchas" o zonas ricas en la terminología minera) con zonas

improductivas o estériles (zonas de “falla” en la terminología minera). Se debe aclarar que estas zonas de “falla” pueden corresponder tanto a zonas sin mineralización como a zonas con mineralización de baja calidad.

El largo de cada zona, parecería ser muy variable, pero en general estaría en el orden de algunos pocos metros, aunque según los mineros se han atravesado zona de “fallas” de hasta 20 m de longitud.

Otro aspecto constatado por los mineros es que las zonas de “fallas” o “manchas” aparecen con diferente espesor y/o a diferente altura en túneles, de un mismo frente, paralelos y muy próximos (a veces separados unos pocos metros).

En resumen parecería que estos depósitos presentan cambios, a veces muy abruptos, en los tres aspectos fundamentales del depósito que repercuten en forma muy importantes en el rendimiento de la extracción y por ende en los costos :

- Variaciones en la geometría del cuerpo mineralizado tanto en su forma como en su potencia.
- Variaciones en la distribución de la mineralización (mayor o menor concentración de geodas) dentro de la roca basáltica hospedera
- Variaciones en la calidad de las mismas (tamaño y tipo de relleno silíceo) dentro de las zonas mineralizadas.

Estas variaciones también tienen fuerte incidencia a la hora de la cuantificación de los yacimientos

Para el calculo de los recursos (o reservas) deben conocerse con un alto grado de certeza el volumen de roca mineralizada y el “tenor”. (entendiendo por tenor la cantidad y tipo de material con valor comercial por unidad de volumen de roca caja mineralizada).

Los valores que se presentan en los informes mineros asumen para el calculo de recursos un cuerpo mineralizado tabular de espesor constante lo cual no se ajusta a la realidad. Por otra parte los tenores que se manejan, en el mejor de los casos representan una pequeña zona del yacimiento (zona donde fue realizado el estudio). Pero dado las variaciones de concentración y calidad de la mineralización solo puede obtenerse un tenor representativo del yacimiento con una gran cantidad de mediadas en diferentes partes del cuerpo.

En función de lo anterior no existe datos confiables de la cantidad de mineralización existente en los yacimientos (recurso) y menos aún de la cantidad de mineralización con valor comercial y que puede ser extraída en forma rentable económicamente (reservas). Ver Figura 7.1-9

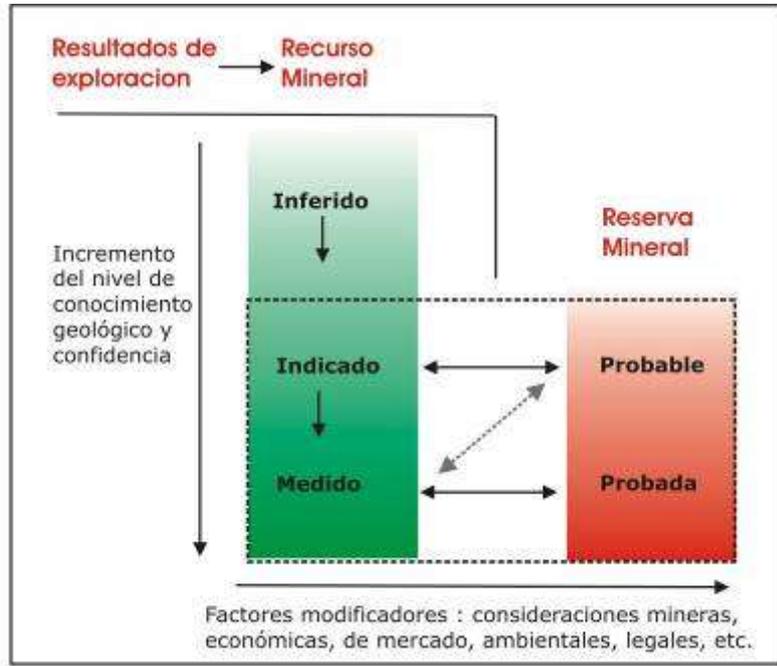


Figura 7.1-9 : Relación entre recurso mineral y reserva mineral

7.2 Asociaciones mineralógicas

Una tarea, que a nuestro entender es muy importante, es el estudio de corte mineralógico de las especies minerales encontradas en el distrito minero objeto de este trabajo. Dicha tarea esta programada para ser realizada en las Fases siguientes del Proyecto, de todas maneras se presentarán en este capítulo algunas observaciones de las asociaciones mineralógicas, realizadas en esta primera Fase.

Como ya fue mencionado en los capítulos anteriores existen 2 paragénesis silíceas básicas y ampliamente predominantes en los yacimientos del distrito. Ver Capítulos 5.2.1 y 5.2.2 para más detalles.

En forma subordinada, se han observado una serie de variantes de estas paragénesis básicas que se listan en el Cuadro 7.2-1 y se complementa con los siguientes comentarios :

- La paragénesis básica (calcedonia-ágata / cuarzo intercrecido-amatista) ampliamente predominante de las geodas parcialmente rellenas del DGLC, pueden sufrir algunas variantes, como : repetición de la fase macrocristalina cuarzo-amatista o inversión en la aparición de la misma. Ver Figura 7.2-1 / Anexo 7.
- La calcita mayoritariamente cristaliza como mineral tardío, con hábito rómbico o escalenoendrico. Pero también fue observado como fase temprana entre bandas de calcedonia de la periferia de las geodas o fases intermedias, cristalizada antes de la amatista o de una fase tardía de calcedonia. Ver Figura 7.2-2 / Anexo 7.
- La pirita aparece asociada mayoritariamente a los planos de fractura en el basalto, pero también se ha observado entre la cáscara basáltica y la primera banda de calcedonia de la geoda (fase temprana ?) o recubriendo a cristales de cuarzo o sobre caras de calcita (fase tardía).
- Cuarzo finamente cristalizado, generalmente incoloro y bien formado, puede aparecer desde fases tempranas, alternado con la calcedonia y/o ágata en la periferia de las geodas hasta fases tardías, sobre la calcita.
- Si bien son muy pocas observaciones, parece ser que la calcita presenta hábito y color diferente en función del momento de cristalización en la secuencia.

Muestra	Secuencia Mineral	Observaciones
1	C / Qzi / QZc / Ca ¹ / QZ-ahumado	
2	Ce / Ag / QZm / Ca ²	
3	Ag-C / Qzi / Am / Ca	
4	C / QZi / C / QZm	La segunda aparición de calcedonia es una fina capa
5	C / QZi / C / QZm	La segunda aparición de calcedonia es una fina capa
6	C / Ce / QZi. Verde / QZi / Am / Ca	
7	Ce / C / Ag / QZi / Am / QZc	Amatista intercrecida
8	C / P / Ca ¹ / P	La cara de la calcita se encuentra recubierta por pátinas de Pirita
9	C / QZi Verde / Ag / Ca ¹ / QZc / Ca ¹	
10	P / C / Ag / QZc / ME / Ca ²	Mineral negro (Sulfuros ?) sobre caras del Qz. y Calcita
11	Ce / C / Ag / Qc / Am / QZc Am	
12	Ag / QZm. Verde / C / QZm	
13	Ce / C / Ca ¹ / Ag / Am / QZc / Ca ¹	Calcita englobada por las bandas de calcedonia
14	C / QZc / Am	Secuencia típica
15	C / QZi / Am / Ca ¹	
16	Ag / QZi / Am / Ca_molde / QZm	Microcuarzo (QZm) sobre molde de calcita
17	C / Ca ¹ / QZm / Ca ¹	
18	Ce / C / Ag / Am / Ca ¹	
19	C / QZi. blanco / Ca ¹ / QZc	
20	Ca ¹ / Am	Muestra aislada
21	C / Ag / QZi / Am / QZi	
22	Ce / C / QZi / Am / Ca ¹ / QZm / Ca ²	Inclusiones de un mineral Negro y acicular , dentro de la Calcita y la Amatista (Gohetita ?).
23	C / QZi / Ca ¹ / C / QZm	
24	C / QZi / Am / Ca ¹ / Ca ³	Romboedro de calcita + pequeñas esferas de calcita sobre la amatista y dentro del macrocristal de calcita
25	C / QZi / Am / QZc	Amatista intercrecida

Código : Ag = Agata / Am = Amatista / C = Calcedonia / Ca = Calcita, ¹ Rómbica, ² Escalenoédrica / Ce = Celadonita / QZc = cuarzo macrocristalino bien formado / QZi = cuarzo intercrecido, blanco a incoloro / QZm = cuarzo microcristalino generalmente bien formado, transparente / P = Pirita.

Cuadro 7.2-1 : Algunas secuencias minerales encontradas en los yacimientos del DGLC (además Ver Figuras 7.2-1 y /.2-2)

Estas diferentes paragénesis o sucesiones de mineralización observadas en las geodas del DGLC, son muy similares a las descritas para los yacimientos de Alto Uruguai por Amorim V. et al. – 2005 (Ver capítulo 4.3 y Cuadros 4.3-1 y 2). Según estos autores, algunas de estas secuencias se corresponderían con diferentes pulsos de mineralización que ocurren en distintos momentos, durante el proceso de cristalización del mineral en el interior de la geoda.

Esta hipótesis explicaría bastante bien a las observaciones realizadas en los yacimientos del DGLC y descritas anteriormente. E implicaría la existencia de un fluido mineralizante, que varía en el tiempo y que rellena una cavidad preexistente, como postulan algunas de las hipótesis genéticas que se detallan más adelante.

De todas formas aún faltan muchas más observaciones y estudios mineralógicos, para sacar conclusiones definitivas, pero creemos que está es una de las líneas de investigación que se deben llevar a cabo en las Fases siguientes del Proyecto.

7.3 Modelos Genéticos Propuestos

Como ya fue mencionado no se pretende, en esta fase del proyecto, hacer estudios de detalle del yacimiento, ni menos aún formular una hipótesis genética de los mismos.

Lo que se presentará en esta parte del capítulo son las diferentes hipótesis que se postulan para el origen de estos depósitos, en base a la literatura especializada a la que se pudo acceder.

Existen varias hipótesis y modelos de formación de este tipo de yacimiento que tratan de explicar diferentes aspectos del proceso mineralizante como : fuente de sílice, origen y características químico-físicas de fluido mineralizador, mecanismo de formación de la cavidad, relación evento magmático-mineralización, etc..

Varias de estas hipótesis son relativamente parecidas y solo presentan algunas pequeñas variantes en los aspectos antes mencionados, por lo que en forma arbitraria podemos “encasillarlas” en dos grupos :

- a.** Aquellas que postulan que la cavidad y el relleno silíceo se habrían originado durante un único evento dentro de la fase magmática principal.
- b.** Aquellas que diferencian claramente por un lado la formación de la cavidad (“protogeoda”) y posteriormente el evento mineralizador que rellena la misma en una fase fini o post magmática.

Dentro del primer grupo de hipótesis, se encuentra la propuesta por Bossi y Caggiano – 1974, para los yacimientos de ágata y amatista Uruguayos.

Estos autores, basados en observaciones de campo en la región de Los Catalanes y consultas bibliográficas, proponen la siguiente sucesión de eventos que habrían originado la mineralización silícea :

- Incorporación de arena “volada” a la colada mientras esta aún se encuentra fundida
 - Disolución de la arena por agua supercrítica, liberada durante la cristalización del basalto.
 - Formación de una solución rica en sílice.
 - Ascenso de dicha solución, a manera de gotas hasta la total solidificación de la lava.
 - Primero formación de la cavidad y luego con la disminución de la temperatura, formación del depósito silíceo (calcedonia, cuarzo, amatista).
- Posteriormente, Montaña y Bossi–1993 (citado en Bossi et al. – 2000), en función de observaciones realizadas en las cercanías de la localidad de Curtina en el departamento de Tacuarembó, donde existiría una buena exposición de coladas basálticas con geodas en contacto con areniscas eólicas, introducen algunas variantes al modelo antes presentado.

Estos autores plantean que la sílice no proviene de la arena volada sino de fragmentos de areniscas arrancados del piso por donde corría la lava.

Además, observan relaciones lava-geoda-arenisca, que según su opinión casi que resuelven definitivamente la génesis de las geodas silíceas : bloques de arenisca con geodas de cuarzo bien cristalizado, geodas con fragmentos de arenisca en proceso de fusión parcial, vetas de ágata en niveles de arenisca, amatista relacionada geométricamente con bloques y filones de areniscas.

Otra observación, fundamental según dichos autores, es la presencia de granos de magnetita dentro de los cristales de cuarzo, con diferente grado de deterioro superficial. Plantean una relación directa entre la cantidad de granos de magnetita, el estado de disolución de los mismos y la intensidad de color violeta del cuarzo. Postulan que en la zona de Curtinas, los cristales incoloros o violeta pálidos serían las etapas intermedias del proceso de formación de color, en cambio en la zona de Los Catalanes, los cristales de amatista con coloración más intensa representan las etapas últimas del proceso.

También marcan la existencia de una relación espacial entre zonas con geodas y filones alimentadores de los derrames. Postulan que la formación de geodas necesita temperaturas muy altas en el basalto y por lo tanto la proximidad de los filones.

Como síntesis, estos autores proponen un modelo prospectivo en que los yacimientos de ágata y amatista se generan a partir de lava muy caliente (en cercanías de filones alimentadores) que arranca, engloba y funde fragmentos de arenisca. Además la arenisca de los paleovalles interdunares serían material ideal, ya que allí se acumularon minerales densos (como magnetita), que aportarían Fe para la generación del color en la amatista.

En las hipótesis reunidas en el segundo grupo, la génesis puede verse en forma simplificada como una secuencia de eventos que involucran : formación de la cavidad receptora de la mineralización / generación y movilización del fluido rico en sílice / deposición en forma ordenada de dicho fluido dentro de la cavidad, para formar la paragénesis calcedonia-cuarzo-amatista.

Formación de la Cavidad

Las vesículas observadas en derrames sub-aéreos son el resultado integrado de varios procesos físicos. Ver Capítulo 3.4.

La formación de geodas, en los derrames portadores de Ametista do Sul, pueden ser explicados por la exsolución de gas del magma supersaturado, sin necesidad de aporte externo de agua [Scopel et al. – 1998 y Proust & Fontain -2007].

Corrêa T. – 1995 propone un posible modelo de formación de geodas a partir de crecimiento y migración ascendente de las burbujas gaseosas, desde la fase de distribución homogénea de burbujas hasta la formación de los niveles mineralizados de la roca basáltica. Ver Figura 7.3-1.

“Luego de producirse el derrame de la lava sobre la superficie, comienza el ascenso de las burbujas, por diferencia de densidad con la medio. Eventualmente, burbujas con diferentes velocidades de ascensos pueden coalescer y formar burbujas mayores.

Paralelamente, se produce un avance de los frentes de enfriamiento, desde los bordes hacia el centro del derrame (con diferente velocidad ya que la

pérdida de calor es mayor en la parte superior de la colada). En esta zona central, donde la nucleación de cristales es incipiente, la viscosidad aparente del magma permite la difusión gaseosa y la expansión de las burbujas (I: Figura 7.3-1). Con el avance de los frentes de solidificación, se produce el “aprimamiento” de burbujas gaseosas (protogeodas), por la solidificación de la lava o por el aumento de la viscosidad (alcanzando el “yield strength”). Esto ocurre principalmente en las burbujas más grandes, que poseen mayor superficie de contacto con la lava y en consecuencia, presentan mayor resistencia al desplazamiento por diferencia de densidad. En estas condiciones, la migración de las isoterms asociadas al movimiento ascendente de las burbujas gaseosas, produce un mecanismo de inmovilización progresiva de la fase volátil del tope para la base (II: Figura 7.3-1). Las diferentes formas adquiridas por las estructuras geólicas, en este proceso de avance de los frentes de cristalización, pueden ser representadas como producto de irregularidades en los frentes de solidificación y de la probable existencia de porciones en el núcleo del derrame, donde los procesos de nucleación y cristalización de los minerales está más avanzado.

Las formas cilíndricas y cuneiformes, que predominan en la región y la tendencia a presentar la base plana, podría ser perfectamente explicada por el mecanismo propuesto. Formas más complejas o geometrías combinadas, pueden haber sido originadas por variantes del mecanismo antes mencionado, como irregularidades de los frentes de enfriamiento o lo mismo por heterogeneidades de las condiciones de plasticidad del material envolvente de la “protogeoda” (III: Figura 7.3-1)” [Corrêa T. – 1995].

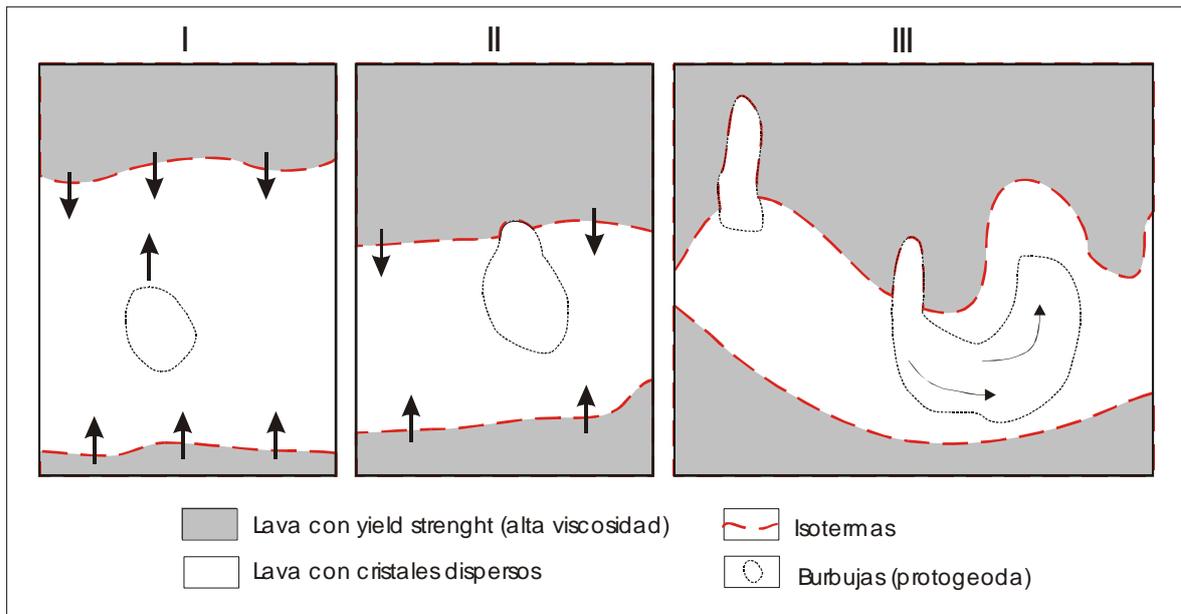


Figura 7.3-1 : Etapas de formación de geodas propuesto por Corrêa T. - 1995
 I : ascenso y coalescencia de fases gaseosas conjuntamente con migración de la isoterma hacia el centro del derrame / II : Aprisionamiento de las burbujas por el avance de los frentes de cristalización / III : Variante en el modelo por irregularidad de las isotermas que produce deformación en las burbujas. (ver detalles en el texto).

Proust & Fontaine – 2007 realizan un modelo de vesiculación y enfriamiento en base a observaciones y mediciones de distribución de vesículas en un derrame basáltico, portador de amatista, en la zona de Ametista do Sul (Rio Grande do Sul). Según estas autoras, la total solidificación del derrame estudiado ocurre a los 12 años y las isotermas (980 °C) progresando hacia el interior del derrame desde el tope y la base, se interceptan a una profundidad de 18,70 m.

La posición del frente de solidificación (solidus isotermas) en el derrame, en función del tiempo, es utilizada por Proust & Fontaine – 2007, para reproducir las estructuras observadas en la actualidad. Ver Figura 7.4-2.

Por otra parte, Gomes M. et al – 2005, plantea que en las coladas portadoras del distrito de Alto Uruguay, el nivel vesicular superior e inferior se formaría con el derrame aún recibiendo flujos de lava fresca (“inflation” derrames). Mientras la parte central del derrame se enfriaría y cristalizaría solamente luego del “estacionamiento” de la colada. En la zona vesicular superior, las burbujas son formadas durante la erupción, por difusión, con escasa coalescencia tardía. La zona vesicular inferior se formaría principalmente por interacción de burbujas (coalescencia). En la zona

central con suave enfriamiento de un “núcleo líquido estacionario”, las burbujas pueden coalescer generando geodas métricas.

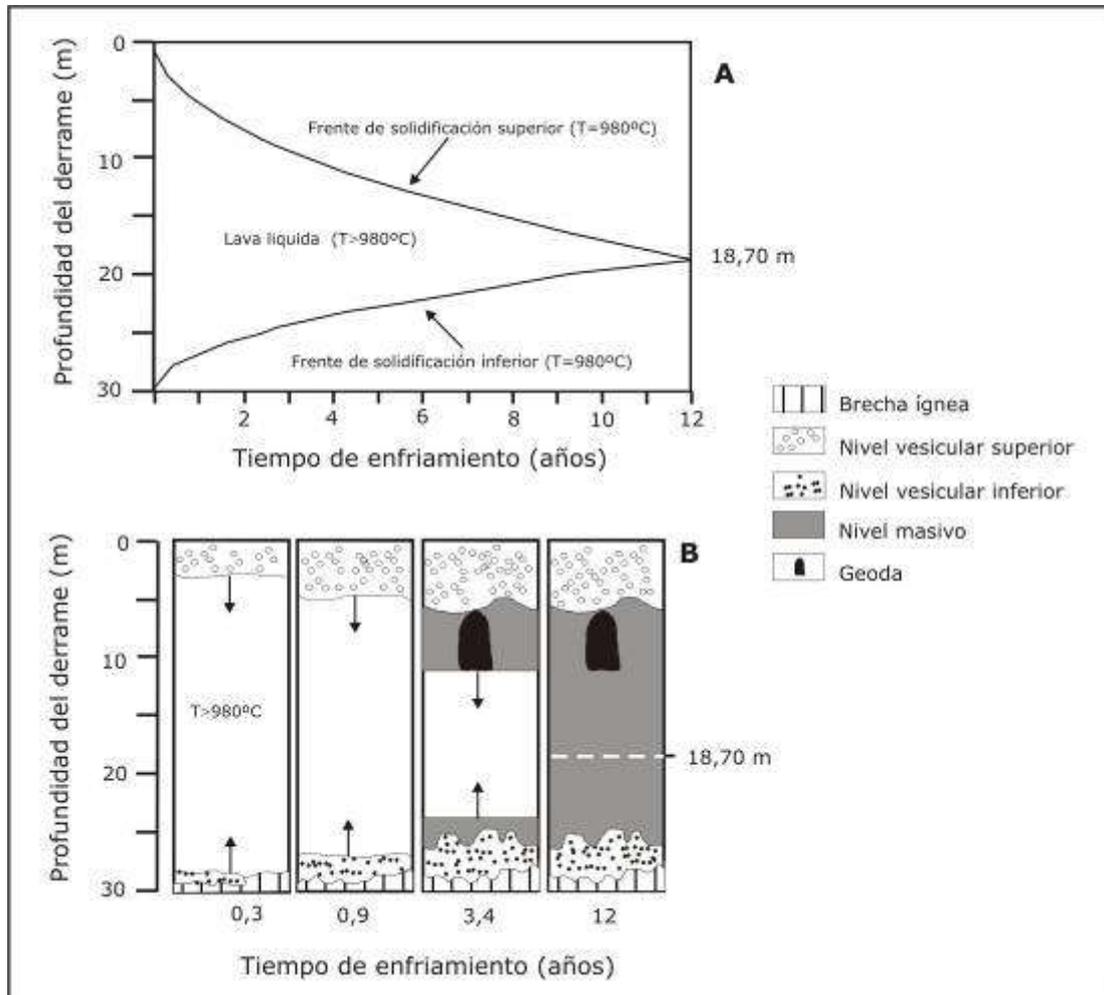


Figura 7.3-2 : Modelo teórico de vesiculación y enfriamiento en base a observaciones y mediciones ejecutadas en un derrame basáltico portador de amatista, en la zona de Ametista do Sul (Rio Grande do Sul). Tomado de Proust & Fontaine – 2007.

A Avance de las isothermas dentro del derrame en función del tiempo de enfriamiento.

B Desarrollo secuencial de la estructura interna del derrame al ir avanzando los frentes de solidificación.

Temperatura de cristalización

Los datos de la literatura para la cristalización de ágata varían de 375 °C hasta temperatura ambiente y para el cuarzo macrocristalino son atribuidas temperaturas en general inferiores a 169 °C, hasta temperatura ambiente [Juchem L. – 1999].

Juchem L. – 1999 realiza un estudio detallado sobre las fases silicosas (ágata-cuarzo incoloro-amatista) encontradas en las geodas de la región de Alto Uruguay y los resultados sintetizados son :

- Predominancia de inclusiones fluidas metaestables con salinidad baja y de composición química principalmente sódica.
- Minerales con zonación de crecimiento.
- Mineralogía de las geodas con ágata, cuarzo incoloro, amatista, calcita, yeso y barita.
- Las inclusiones sólidas en la amatista son : goethita, calcita y esferulitos de calcedonia.

Considerando en conjunto todos estos datos (más el análisis de isotópicos de oxígeno, de la secuencia de cristalización silicosa de las geodas y en cristales de calcita) Juchem L. – 1999, concluye que las temperaturas de cristalización de los minerales de las geodas de Alto Uruguay varían entre 80 a 150 °C en un ambiente epitermal.

Los estudios microtermométricos realizados sobre inclusiones fluidas en cuarzo incoloro y amatista, en geodas de la región de Alto Uruguay, así como los resultados de los estudios isotópicos de oxígeno en calcitas, asociados a la mineralización silícea, indican una temperatura de relleno de las geodas nunca superior a los 100 °C [Gilg A. et al. –2003].

Por su parte Proust & Fontaine – 2007, a través del estudio de inclusiones fluidas primarias de amatista de Alto Uruguay, obtiene temperaturas de cristalización en el intervalo de 152 a 238 °C.

Fuente del fluido y sílice

El fluido que produce el relleno de las geodas con amatistas en la región del Alto Uruguai fue una solución acuosa, con baja temperatura y con un muy bajo contenido de sal. Aunque no se descarta completamente una fuente magmática los estudios realizados favorecen fuertemente un origen meteórico para el líquido mineralizante. [Gilg A. et al. - 2003, Duarte L. et al. - 2005].

La principal fuente de sílice, que rellena las geodas, sería el vidrio intersticial, metaestable y altamente reactivo de la roca volcánica que hospeda a la mineralización. Pero sin excluir otras posibles fuentes como las areniscas de la unidad Botucatu [Gilg A. et al. -2003].

Por otra parte, Scopel M. – 1997 (citado por Fischer - 2004) propone una fuente hidrotermal, producto de fases post-magmáticas mezcladas con agua, que alteró y sustituyó algunos minerales primarios, generando arcillo-minerales como saponita, clorita y celadonita. Este autor realiza un balance geoquímico, a través de cortes con muestro a diversas distancias de las geodas mineralizadas. Como resultado encontró que prácticamente no hubo pérdida de elementos mayores, a excepción de una pérdida significativa de SiO_2 y una ganancia de H_2O creciente en dirección a la mineralización.

Este fluido hidrotermal, cargado con sílice de la propia roca volcánica, habría sido el responsable del relleno de las vesículas en el tope del derrame, como de las geodas en el nivel superior del derrame portador de amatistas.

Proust & Fontaine – 2007, también realizan un balance geoquímico de masas, de basalto fresco y basalto alterado en las proximidades de las geodas, con resultados similares a los anteriormente mencionados :

- Un progresivo decrecimiento de SiO_2 y de la densidad aparente del basalto al disminuir la distancia a la geoda.
- Un leve incremento del contenido de agua junto con un progresivo incremento de la alteración de la roca, con subsiguiente liberación de sílice hacia el contacto con la geoda.

Es decir, el origen del fluido provendría de la propia “auto-alteración” del basalto que rodea a la geoda y la cantidad de SiO_2 liberado del halo de

alteración, sería suficiente para producir el relleno silicio encontrado en las geodas, sin necesidad de aporte externo. [Proust & Fontaine – 2007]

Como pasa en general con las hipótesis genéticas de procesos naturales complejos (como es la formación de un yacimiento) es muy difícil, sobre todo con tan pocos estudios, llegar a definir los procesos exactos que dieron origen a la mineralización. Es más, en el mejor de los casos, las hipótesis genéticas explican una buena cantidad de las características de un yacimiento dado, pero dejan muchos puntos oscuros en cuanto a los procesos exactos de formación del mismo.

Por otra parte en el relevamiento de los frentes de cantera, ejecutado en este trabajo, hemos realizado algunas rápidas observaciones de los yacimientos, que se ajustarían mejor a algunas de las hipótesis genéticas, como :

- Secuencias de cristalización cambiante, a la manera de pulsos de mineralización como los planteados para los yacimientos de Alto Uruguay
- Geodas vacías al lado de geodas con amatistas.
- Roca portadora relativamente “fresca” pero con sectores dentro del yacimiento con signos de haber sufrido procesos de alteración sin-magmática o hidrotermal.
- Inexistencia o muy escasa cantidad de “conductos” (fisuras, venillas, etc.) alimentadores de fluido mineralizante, como sería de esperar, dada el enorme volumen de sílice contenido en el nivel geódico.
- Frecuente asociación espacial de arenisca (en especial “filones” de areniscas) con el nivel geódico, pero sin ningún signo de transformaciones del sedimento en minerales silicios (ágata/cuarzo/amatista).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la hipótesis que mejor explicaría las observaciones preliminares realizadas en los yacimientos del DGLC, planteadas anteriormente, es la postulada por Proust & Fontaine – 2007 que se sintetiza a continuación :

“Esta hipótesis considera a la geoda y su roca hospedera basáltica, como un sistema cerrado donde fluidos autógenos a alta temperatura reaccionan con el basalto para producir un halo de alteración alrededor de la geoda (con casi todos los elementos mayores “atrapados” en los minerales secundarios) y con una migración hacia la cavidad geódica del exceso de sílice. La fuerza

que dirigiría la transferencia de elementos químicos es el gradiente de presión de vapor de agua entre vesículas/geodas y basalto.

El proceso de formación de cavidades geódicas se detendría por debajo de los 1000 °C, al aumentar la viscosidad del magma, mientras la cristalización de amatista se produciría a temperaturas cercanas a los 250 °C. Durante este intervalo de enfriamiento, se produciría la descompresión del gas rico en H₂O del interior de la cavidad, con la formación de un gradiente de presión y químico. Dicho gradiente permitiría la migración de fluidos residuales diferenciados y calientes desde sitios "diktytaxitic" (sitios interminerales) en el basalto hacia la geoda, con simultánea formación de un halo de alteración en la roca hospedera de los alrededores

Cuando el fluido rico en sílice entra en la geoda, la presión y temperatura caen abruptamente y conducen a un decrecimiento de la actividad de agua, produciendo una desmezcla entre agua (líquida y/o vapor) y gel silíceo. El gel favorece, al comienzo, la rápida cristalización de calcedonia y de amatista al final del proceso de cristalización.

El sistema puede producir más o menos calcedonia o amatista, en función de la relación SiO₂ /H₂O (un fluido con decreciente relación SiO₂ /H₂O o dos fluidos con respectivas altas y bajas relaciones de SiO₂ /H₂O)."

7.4 Modelo descriptivo preliminar y Carta minero-exploratoria

Como síntesis de toda la información geológica, minera y yacimentológica, recabada durante esta Fase del Proyecto, se realizó una tentativa de Modelo descriptivo de los depósitos y una carta Minero-exploratoria.

a. Este modelo es solo una primera tentativa de caracterización de algunos aspectos de los yacimientos del Distrito Gemológico los Catalanes. Debe tomarse como una hipótesis de trabajo para chequear, comprobar, modificar o mejorar a partir de estudios futuros más detallados y específicos. En el siguiente cuadro se presenta aquellos aspectos más salientes de los yacimientos que se pudo observar. Al final del mismo se adicionan datos complementarios de carácter geo-económico.

Tipo	Geodas (\pm fisuras) rellenas de amatistas, calcedonia/ágata dentro de derrames basálticos.
Ambiente geológico regional	Provincia Basáltica de Paraná : pila volcánica integrada por extensos derrames sub-aéreos, eruptados a través de fisuras, principalmente basálticos.
Unidad geológica hospedera	Formación Arapey
Contexto geológico del DGLC	50 a 200 m de basaltos integrados por 6 derrames aflorantes, subhorizontales, de espesores promedios entre 30-50 m.
Edad	Roca caja : Cretácico inferior (~130 M.a.)
Derrames portadores	3 derrames basálticos con la siguiente estructuración interna: <ul style="list-style-type: none"> •Base : 1 a 2 m. de basalto grano fino, con disyunción lajosa a columnar-elíptica. Escasas o nulas vesículas. •Media : 30-35 m de basalto masivo, sin vesículas o con vesículas muy dispersas. •Media superior : 1 a 5 m de zona de macrovesículas rellenas con paragénesis silícea (basalto masivo y/o vesicular). •Tope : hasta 5 m basalto vesicular y/o brechoide \pm arenisca interderrame.
Niveles mineralizados	3 niveles a cotas altimétricas de aprox. 240, 200 y 170 m. con textura masiva a vesicular.
Geometría	Espesor promedio del nivel mineralizado entre 1-5 m, forma tabular pero con constante disminución del espesor en cortos tramos.
Distribución	La mineralización presenta distribución no homogénea, con alternancia de zonas ricas y pobres (o de baja calidad) (lenticular?).

Cuadro 7.4-1 : Modelo descriptivo preliminar de los yacimientos del DGLC.

Calidad	Amatistas : variable a muy variable. (calidad y valor en función de la intensidad de color : super-extra, extra, 1 ^{ra} hasta 6 ^{ta})
Tamaño y forma de geodas	<ul style="list-style-type: none"> •Amatistas tamaño : mayoritario 10/30 cm hasta 1m, subordinadamente hasta 3 m. (pesos desde algunos kg hasta 4000 kg.) Forma : esférica, cilíndrica, elíptica, irregular. •Calcedonia/ágata :tamaño desde 5-10 cm hasta 1,5 m (pesos hasta 400 kg). Forma : esférica y elíptica.
Tenor (solo como referencia)	<ul style="list-style-type: none"> •0,7 - 7,0 kg/m³ de amatista ¹ •0,5 kg/m³ de amatista ² •0,5 a 15 kg/m³ de amatista y hasta 40 kg/m³ de ágata (amatista de 1^{ra} ~ 10 % o menos) ³
Mineralización	<ul style="list-style-type: none"> •Principal : Amatistas, ágatas y calcedonia •Secundaria : Cuarzo hialino, gris, ahumado, jaspe y cornalinas, calcita, entre otras.
Alteración / productos	<ul style="list-style-type: none"> •Alteración meteórica / arcillo-minerales, óxidos, carbonatos. •Alteración hidrotermal o sin-magmática ? / celadonita, clorita, calcita, piritita, iddingsita ?, arcillo minerales, sílice, etc.
Hipótesis genéticas propuestas	<ul style="list-style-type: none"> •Asimilación de arenisca por parte de la lava caliente que origina un líquido silíceo inmisible, responsable de las geodas y su mineralización interna. ⁴ •Circulación de aguas meteóricas y /o hidrotermales con alteración del basalto que origina un fluido rico en sílice y que migra hacia una cavidad pre-existente⁵. •Fluidos tardi magmáticos ricos en sílice que migran hacia una cavidad pre-existente⁶.
Depósitos relacionados	Concentraciones principalmente de ágata/calcedonia y amatista subordinada en coluviones y aluviones (depósitos secundarios).
Posibles indicadores para la exploración	<ul style="list-style-type: none"> •Zonas de alteración hidrotermal (?), con abundante arcillo minerales verdes. •Hidrobrechas, fracturas rellenas de sílice. •Niveles Brechoide y/o vesicular de tope con procesos de silicificación. •Abundante material superficial silíceo rodado. •Depósitos secundarios proximales.
Técnicas de exploración	<ul style="list-style-type: none"> •Mapeo geológico, con separación de coladas a escala 50 mil o mayor. •Caracterización intraderrame, en especial zona de tope. •Estudios morfológicos y altimetría en fotos aéreas y cartas topográficas. •Geofísicas ? (magnetometría, georadar).
Productos comercializados	<ul style="list-style-type: none"> •Piezas-geodas, layas y picos de amatistas. •Nódulos y piezas semi a procesadas de ágata y calcedonia.
Usos	Ornamentación, decoración, joyería, artefactos utilitarios.
Mercados principales	China, Europa, Brasil, EE.UU.

Cuadro 7.4-1 : Continuación.

Producción ⁷	<ul style="list-style-type: none"> •Amatista: 400-450 ton/año. •Agata/calcedonia : 5000 a 17000 ton/año.
Exportación ⁷	<ul style="list-style-type: none"> •Amatista : 0,7 a 1,0 millón U\$S / año. •Agata : 2,0 a 4,0 millones U\$S / año .
¹ Medina E.- 1998/ ² Bossi J. 1978 / ³ Informes mineros / ⁴ Bossi & Caggiano-1974 y Bossi & Montaña-1993 / ⁵ Juchem L.-1999, Fischer -2004, Gilg et al.-2003 / ⁶ Proust & Fontaine-2007 / ⁷ En base a los últimos 3 años.	

Cuadro 7.4-1 : Continuación

b. Con los datos geológicos-mineros relevados, se realizó un procesamiento y análisis espacial, para la elaboración de una carta de favorabilidad minera del distrito. La construcción de la misma se basa en tres aspectos fundamentales : limites de coladas, identificación de las coladas portadoras y caracterización de la estructura superior de cada derrame. También fueron utilizados como elementos de referencia todas las labores mineras relevadas. Como elemento auxiliar, en especial para interpolaciones entre puntos con mineralización conocida, pueden ser utilizadas con ciertas precauciones las curvas de nivel.

Las zonas separadas como favorables indican áreas donde es probable localizar un nivel mineralizado. Estas zonas coinciden con los limites superiores de las coladas portadoras es decir aproximadamente con los contactos entre las coladas 2-3, 3-4 y 4-5. Inmediatamente por debajo de estas zonas pueden ocurrir depósitos secundarios (coluviones-aluviones mineralizados).

En contrapartida, fuera de estas zonas es improbable la existencia de un depósito de ágatas-amatistas. Estas zonas, que se deben descartar para las tareas de exploración, están representadas por las áreas ocupadas por la zona masiva media y basal de las coladas 2, 3 y 4 y por la totalidad de las coladas 1, 5 y 6.

Se debe advertir que las zonas separadas como de alta a moderada favorabilidad pueden o no contener un nivel mineralizado. Pero aún en caso afirmativo, la existencia de una mineralización de buena calidad y capaz de soportar una actividad extractiva no está asegurada. Esto esta relacionado con las variaciones laterales ya mencionadas, que hacen imposible definir la existencia o no de un yacimiento sin la ejecución de una exploración detallada.

Por otra parte, el desarrollo del nivel macrovesicular y las características de la mineralización presentaría diferencias en cada una de las 3 coladas portadoras identificadas.

Esto se traduce en una mayor probabilidad de localizar una buena mineralización (en términos de cantidad, calidad y tamaño de geodas) en función del nivel mineralizado que se explore. A su vez la persistencia o continuidad lateral del nivel macrovesicular (donde pueden existir macrovesículas con relleno silíceo = geodas) también sería distinta en cada nivel. Esto se señala en la carta de minera-exploratoria, separando con distinto color las zonas con alta-media favorabilidad en función del nivel mineralizado posible de localizar. Ver Cuadro 7.4-2

Teniendo presente esto, el buen manejo de la carta minera-exploratoria, puede ahorrar tiempo, esfuerzos y dinero en las tareas prospectivas y aumentar la posibilidad del hallazgo de un nuevo yacimiento.

Como elementos auxiliares para la exploración se representan los depósitos primarios y secundarios relevados, los puntos de observación de basalto geódico y las curvas de nivel (se resaltan las curvas 170, 200 y 240 m que en muchos casos coinciden groseramente con el tope de las coladas portadoras). Ver Figura 7.4-1 / Anexo 7

Zonas Favorables	Mineralización	Continuidad lateral del nivel macrovesicular	Colada portadora (tope)	Nivel mineralizado asociado
I	débil	baja	2	2
II	fuerte a moderada	moderada-baja	3	3
III	moderada a débil	buna	4	4

Cuadro 7.4-2 : Zonas con alta a moderada favorabilidad para la localización de un nivel mineralizado

Anexo 7

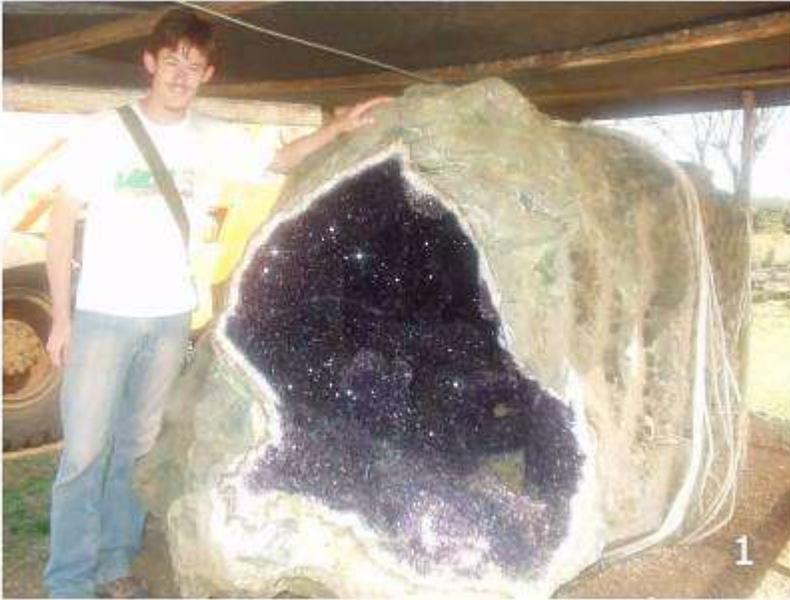


Figura 7.1-2 : Geodas de amatista de los yacimientos de DGLC. Foto 1, 2 y 3 son del nivel mineralizado de la colada 3, con formas generalmente esféricas y elípticas aplanadas. La megageoda de la foto 1 peso según mineros unas 4 toneladas, la de la foto 2 una tonelada y las de la foto 3 entre 50 a 100 kg.. Foto 4, típicas geodas del nivel mineralizado de la colada 4 : formas cilíndricas y pesos entre 100 y 300 kg



Figura 7.1-3 : Fotos superiores posibles brechas hidráulicas en el nivel mineralizado 3 . Foto **A** fragmentos de basalto cementados por sílice alrededor de una geoda con relleno de calcedonia y cuarzo blanco. Foto **B** fragmentos de basalto cementados por una mezcla de sílice, pirita y arcilla verde rodeando una geoda rellena de calcedonia, cuarzo y amatista. Foto **C** fractura rellena de calcedonia, cuarzo y amatista. Foto **D**: Geoda estéril "barrero" tapizada de arcillo minerales.

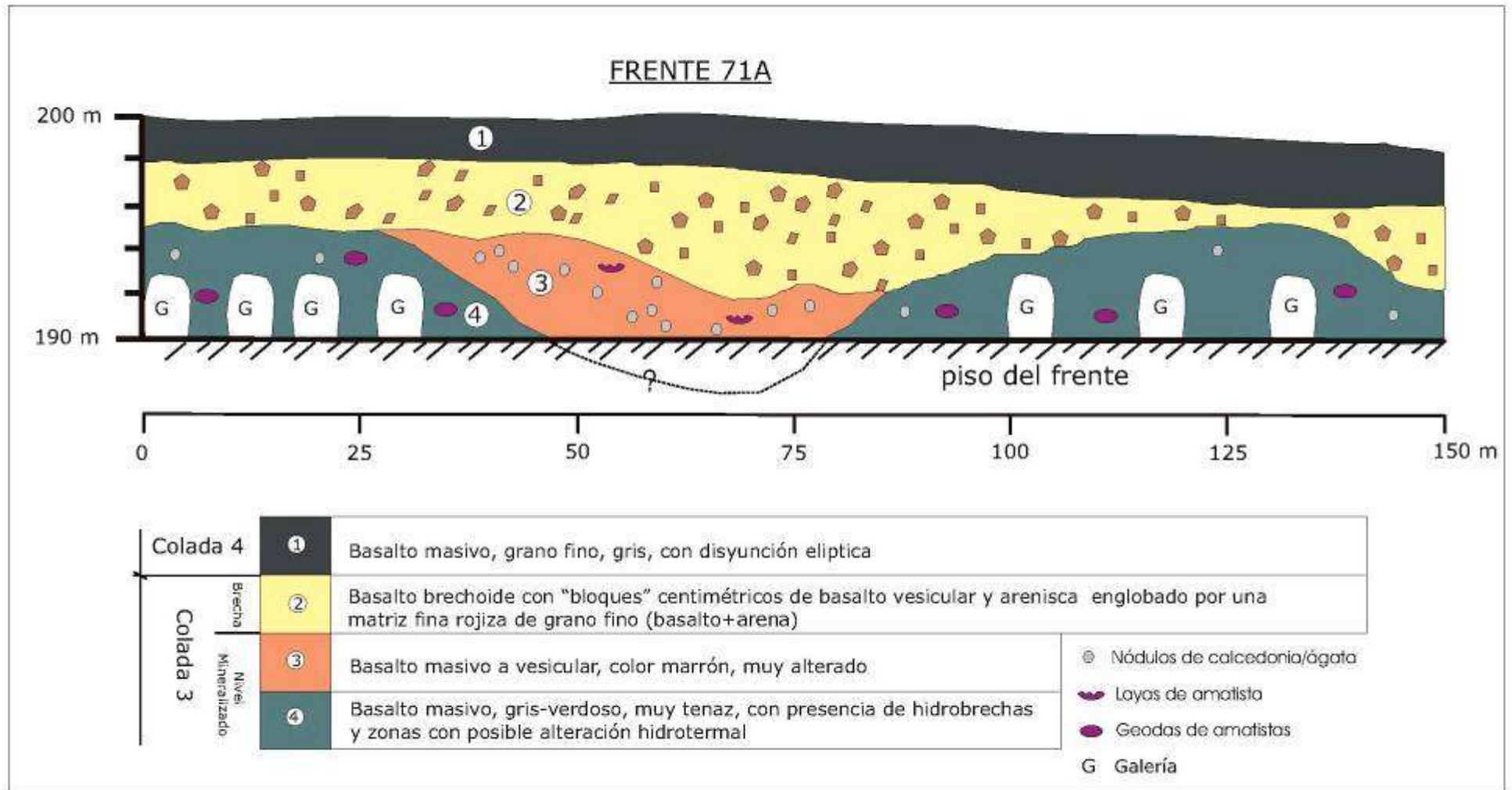


Figura 7.1-4 : Perfil esquemático de frente con galerías sobre la colada 3. Se observa la estructuración en dos partes del nivel mineralizado (geódico) y la forma irregular del contacto nivel geódico-brechoide.

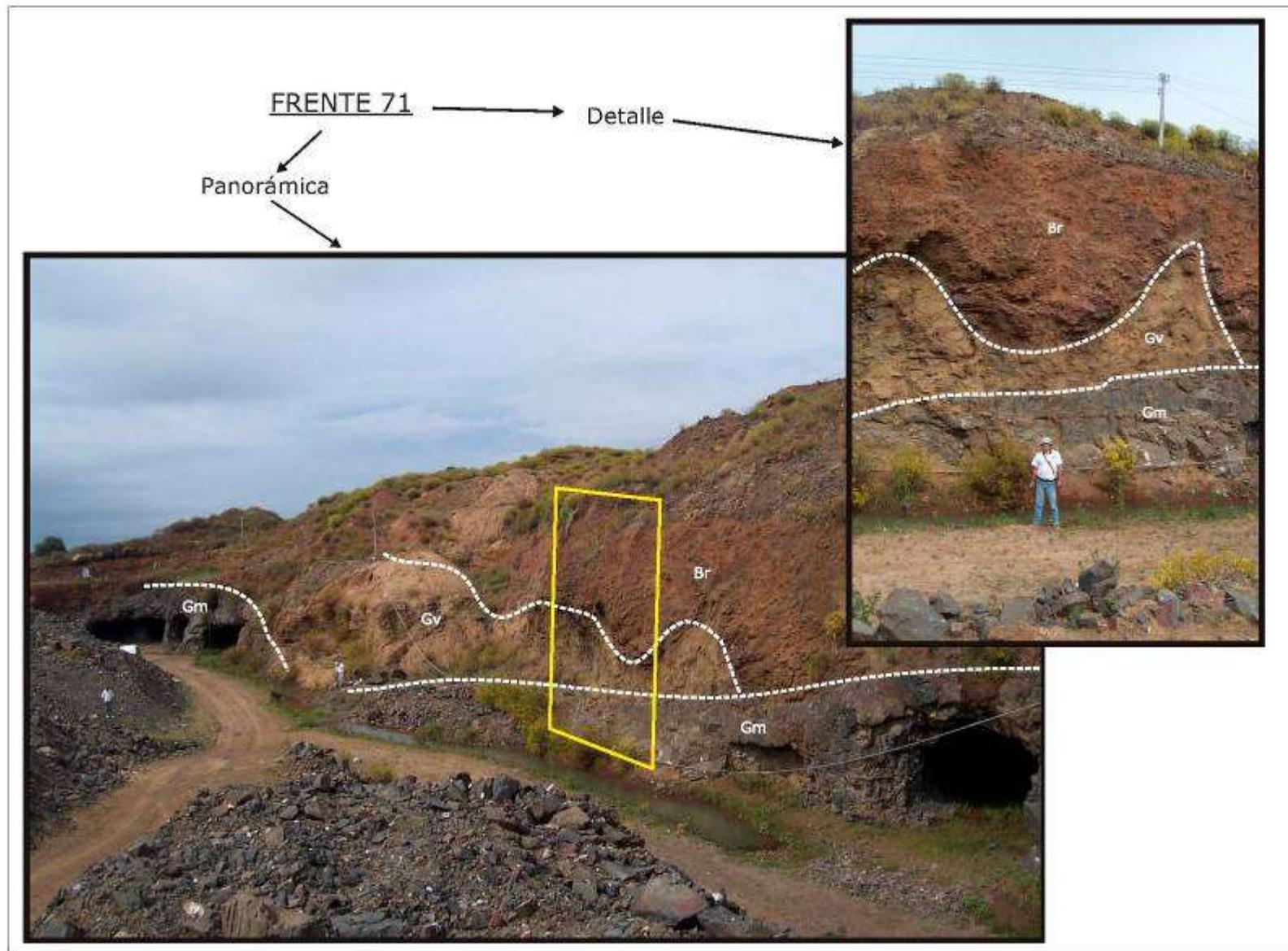


Figura 7.1-5 : Fotografía de cantera con galería sobre colada 3. Observese el contacto irregular entre el nivel brechoide y el nivel geódico y estructuración en dos partes del nivel mineralizado y la "curvatura" del nivel geódico inferior . En la parte superior-derecha detalle, que se corresponde aproximadamente con el rectángulo amarillo (Gm=geódico masivo / Gv=Geódico vesicular / Br=Brechoide) Ver Figura 7.1-2

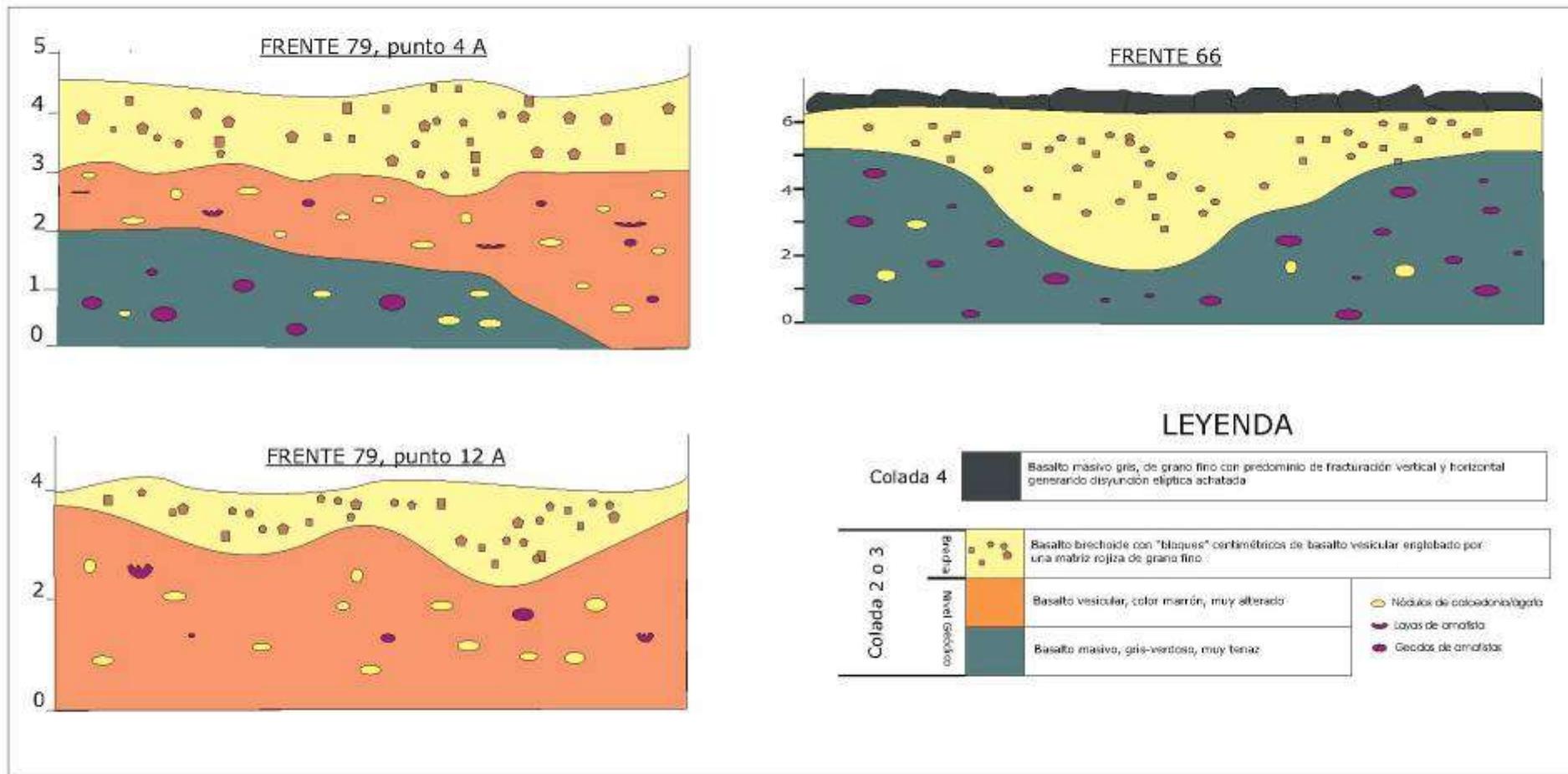


Figura 7.1-6 : Perfiles esquemáticos de frentes extractivos sobre la colada / nivel mineralizado 2 (Frente 79) y colada / nivel mineralizado 3 (Frente 66). Se muestra la estructuración en dos partes del nivel mineralizado (geódico) y la forma irregular del contacto nivel geódico-brechoide.



Figura 7.1-7 : A la izquierda foto A , se observa estructuración en 2 partes del nivel mineralizado, el contacto neto entre ambas partes y un nivel de tope vesicular estéril muy poco desarrollado rematando el perfil. A la derecha foto B se observa la misma estructuración en 2 partes del nivel geódico y el contacto irregular con nivel brechoide de tope. (Geódico masivo =Gm / Geódico vesicular=Gv / Basalto brechoide=Br / V= vesicular)

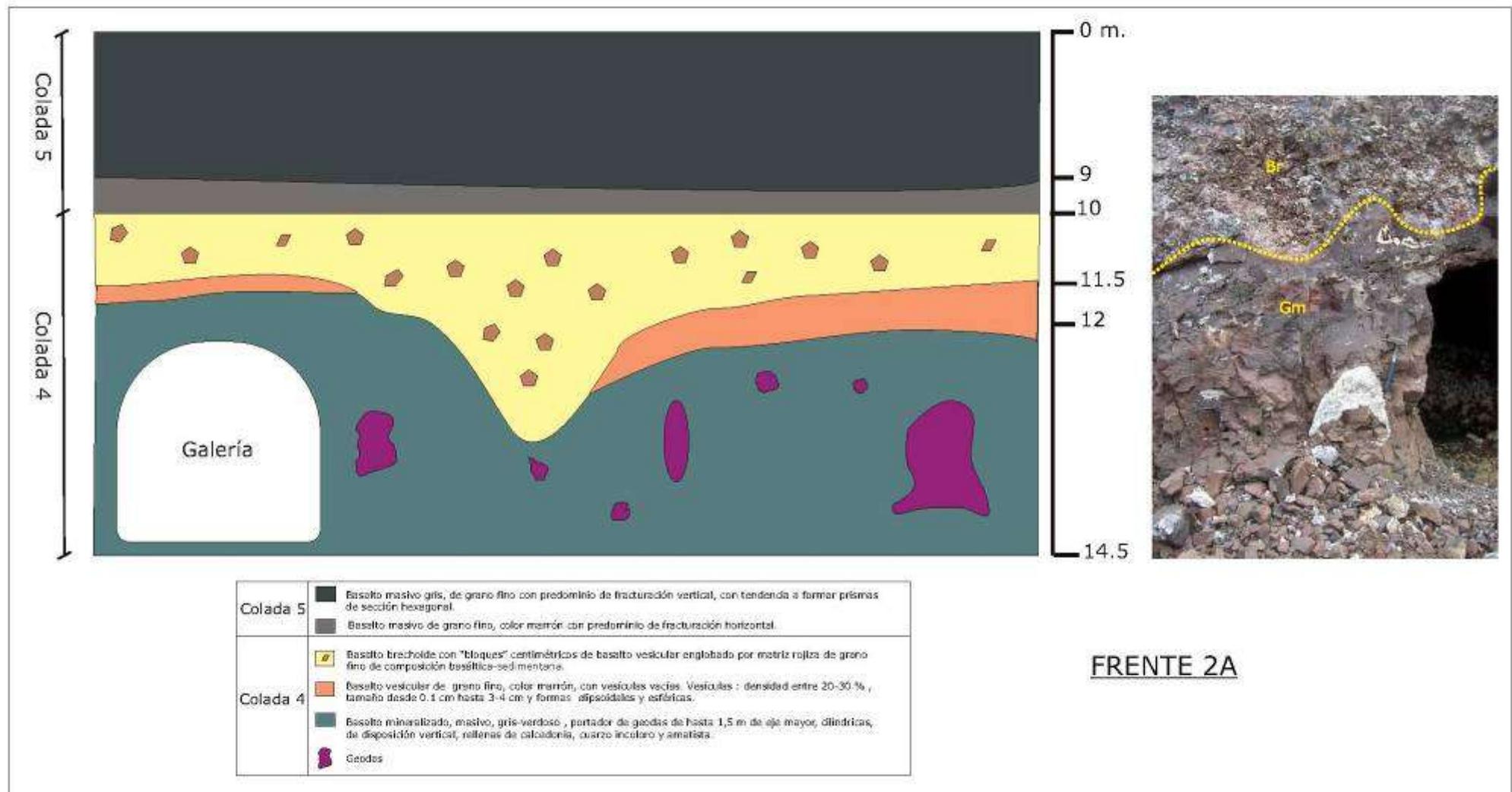


Figura 7.1-8 : A la izquierda perfil esquemático de un frente sobre la colada / nivel mineralizado 4, donde resalta la irregularidad del contacto entre el nivel geódico y nivel brechoide-vesicular . A la derecha foto de un sector del mismo frente , con detalle del contacto antes mencionado (Gm=Geódico masivo / Br=Basalto brechoide)

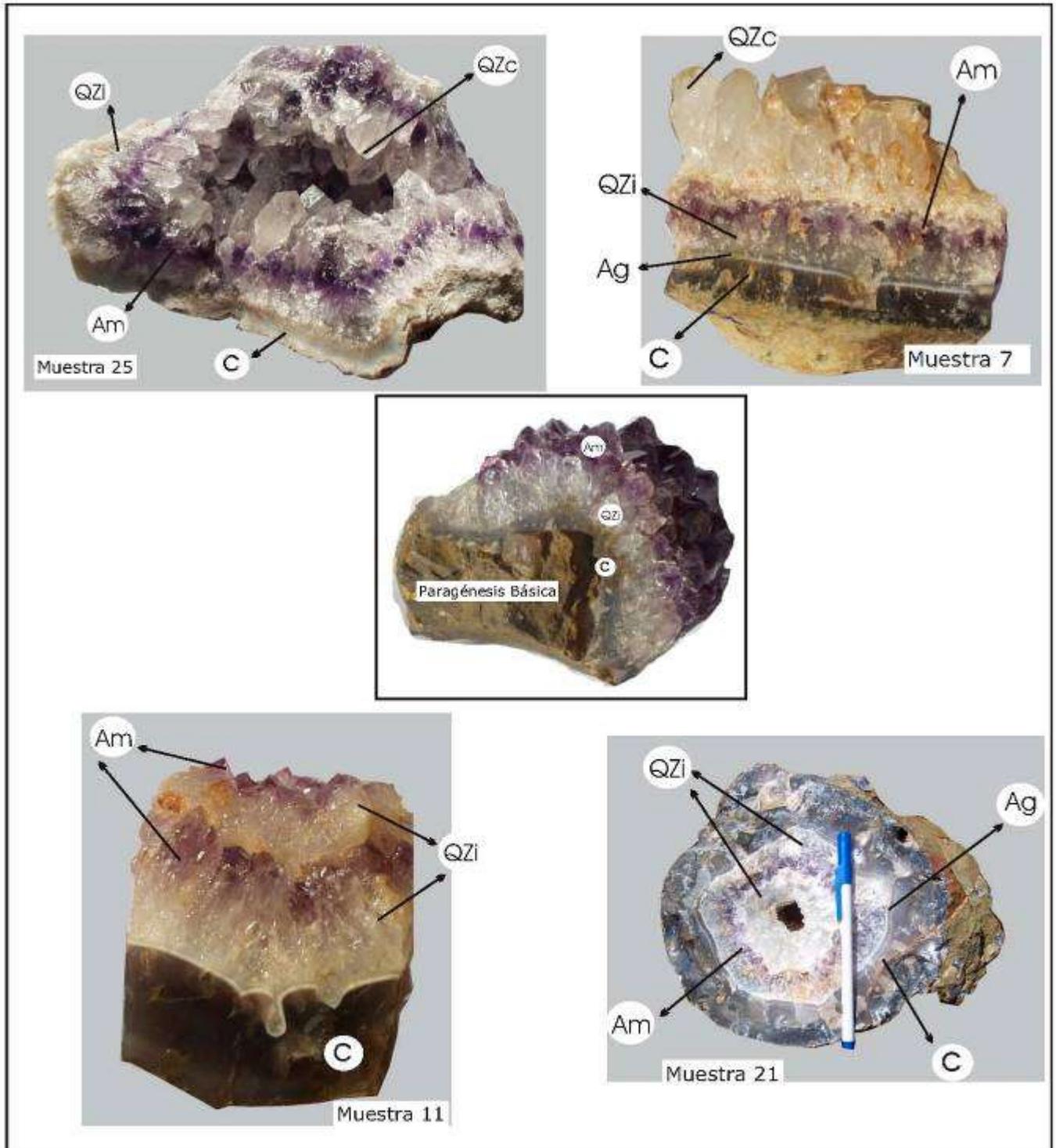


Figura 7.2-1 : Algunas variaciones en la paragénesis "típica" de geodas con amatistas observadas en el DGLC.
 (Código : C=Calcedonia, Ag=Agata, Am=Amatista, QZi= Cuarzo intercrecido, QZc=Cuarzo Cristal)

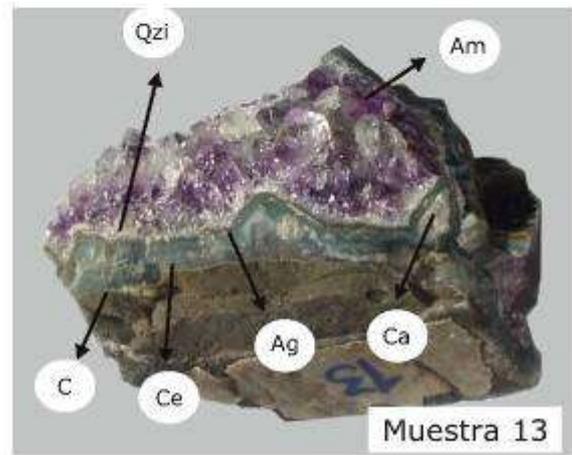
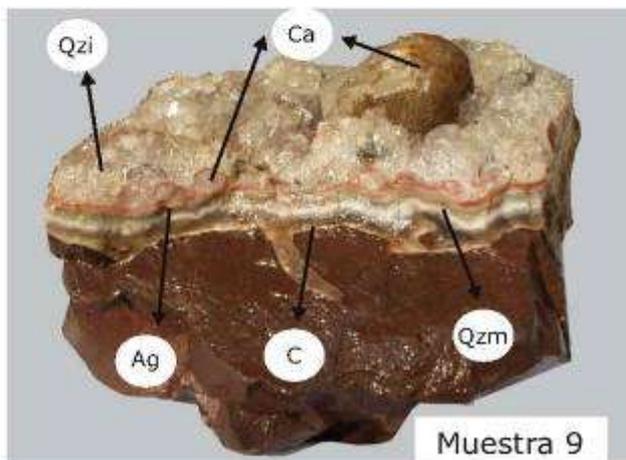
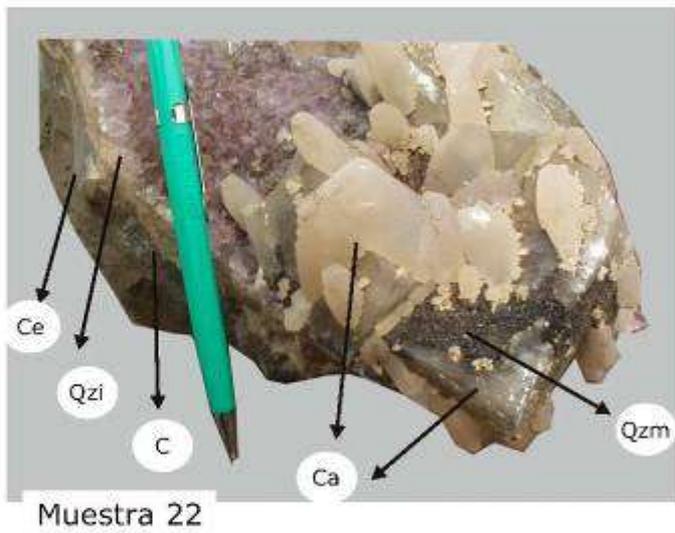
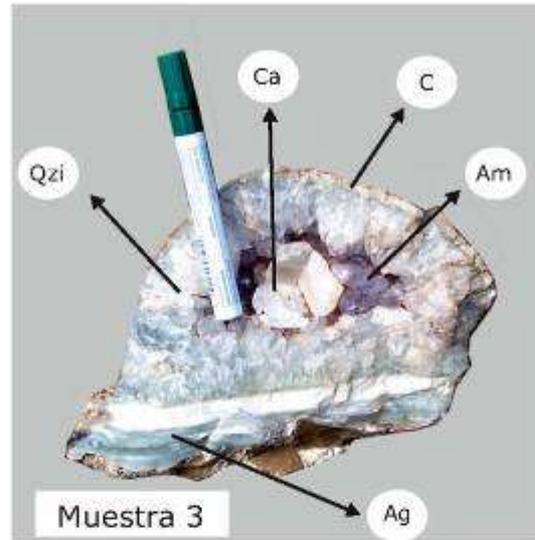
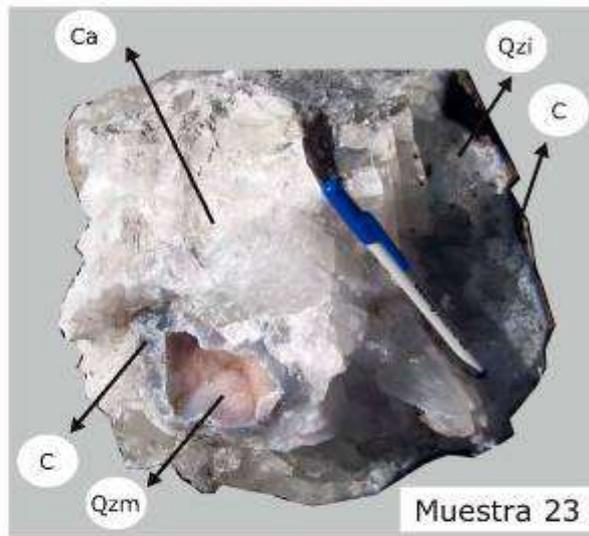


Figura 7.2-2 : Algunas asociaciones de minerales encontradas en el DGLC
 Código : C=Calcedonia, Ca=Calcita, Ce=Celadonita, Ag=Agata, Am=Amatista,
 QZi= Cuarzo intercrecido, QZm=Cuarzo microcristalino

CARTA MINERO EXPLORATORIA DEL DGLC

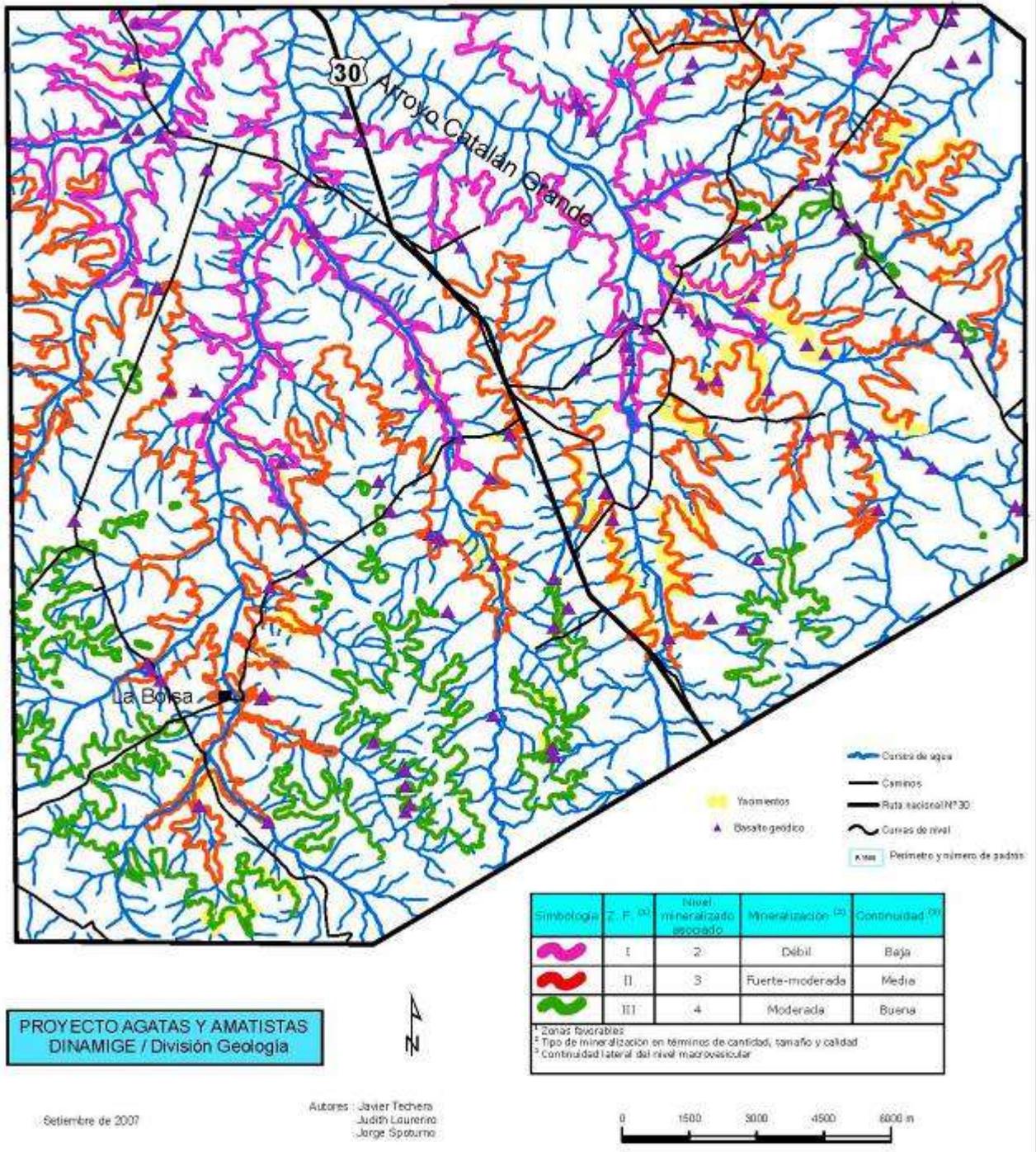


Figura 7.4-1 : Carta minera-exploratoria (simplificada)

8. ACTIVIDAD EXTRACTIVA

8.1 Metodología

Conjuntamente al estudio geológico-cartográfico se efectuó un relevamiento sistemático de todas las labores mineras identificadas en el distrito Gemológico de Los Catalanes.

Dicho relevamiento comenzó con una etapa de gabinete en la cual se revisaron unos 100 expedientes mineros, tanto en fase exploratoria como concesión para explotar, activos y archivados.

Esta revisión permitió, entre otras cosas, separar dentro de cada padrón del distrito minero las áreas donde se concentró la actividad minera extractiva y/o exploratoria actual o pasada, y la construcción, previo procesamiento (georeferenciación y digitalización) de una carta de pedimentos mineros histórica sobre una base geográfica 1:50.000.

Por otra parte y guiado con la carta histórica de pedimentos, se ejecutó un "barrido" sobre las imágenes satelitales de alta resolución Google Earth, buscando ubicar en forma precisa todas las labores mineras de la zona en estudio. Una vez ubicada la imagen satelital de cada labor minera, se procedió a realizar una impresión de la misma a escala de detalle.

Tanto la carta histórica de pedimentos mineros como las imágenes satelitales de detalle constituyeron un material fundamental para la ejecución con éxito del relevamiento minero.

Posteriormente en la etapa de campo, se procedió a la visita de cada una de las labores mineras identificadas en los documentos gráficos generados en la etapa de gabinete.

En cada labor minera visitada se realizaron diferentes tipos de observaciones relacionadas a tres aspectos básicos del depósito: geológicos, yacimentológicos y extractivos. Para la ejecución de esta tarea en forma sistemática y uniforme se confeccionó una ficha "guía" de evaluación, la cual se presenta resumida a continuación:

GUIA DE EVALUACION DE DEPOSITOS/CANTERAS	
A. <u>IDENTIFICACIÓN</u> N° de Ficha, Asunto, etc.	
B. <u>TIPO DE DEPÓSITO</u>	
-Colada roca "fresca"	<input type="checkbox"/>
roca "blanda"	<input type="checkbox"/>
-Coluvión y/o Aluvión	<input type="checkbox"/>
C. <u>GEOLOGIA</u>	
1.- <u>Colada Portadora</u> : Estructura, textura-mineralogía, potencia, grado de alteración, etc.	
2.- <u>Nivel mineralizado</u> : Textura-mineralogía, geometría, tamaño y forma de geodas, otras.	
3.- <u>Mineralización</u> : Tipo de relleno silíceo, cantidad, color y tamaño de cristales, etc.	
4.- <u>Geología del depósito</u> : Estratigrafía, perfil geológico, características básicas de coladas, otras (p. ej. cuerpos de areniscas).	
D. <u>EXTRACCION</u>	
	Cavas <input type="checkbox"/>
* A cielo abierto	Frentes <input type="checkbox"/>
1.- <u>Tipo</u>	
* Galerías	<input type="checkbox"/>
2.- <u>Geometría</u> : * Cavas: dimensión-profundidad. * Frentes: Altura, extensión, forma. * Galerías: Cantidad-alto/ancho de bocas, profundidad de túneles	
3.- <u>Proceso extractivo</u> :	
- Descripción breve de las distintas etapas del proceso extractivo. (destape, apertura de frente/galería/cava, arranque de basalto portador y geodas, etc.).	
- Tipo de explosivos y cantidad (por mes, por m ³ , etc.).	
E. <u>INFRAESTRUCTURA</u>	
- <u>Maquinaria y equipos</u> (tipo, cantidad, capacidad).	
- <u>Instalaciones</u> (vestuarios, polvorín, etc.).	
- <u>Insumos</u> (energía, agua, etc.)	
- <u>Personal</u> (cantidad y tipo)	

Figura 8.1-1 : Síntesis de la guía de evaluación utilizada para el relevamiento de la labores mineras

Paralelamente se posicionaron con GPS (Garmin Plus III) diferentes elementos puntuales que conformaron las labores mineras como frentes, cavas, bocas de galería, etc.. Además se realizaron un gran número de medidas, con cinta métrica o a través de estimaciones, de altura de frentes, cantidad, ancho y altura de bocas, profundidad de túneles, potencia del nivel mineralizado y del brechoide-vesicular superior, diámetro de geodas, etc..

Con la información obtenida en cada labor minera visitada, complementada con información de "gabinete" (datos de expedientes mineros, carta histórica de pedimentos e imagen satelital de detalle), se procede a la confección de la carta del D.G.L.C.

8.2 Carta de Labores Mineras del D.G.L.C.

En la carta de labores mineras se representa toda aquella actividad extractiva o exploratoria, actual o pasada, identificada durante el relevamiento de campo en el D.G.L.C.

Todas las labores identificadas fueron clasificadas y agrupadas en función de tres factores: Forma, Material y Estado. Ver Figuras 8.2-1 y 2

A. Forma

Se refiere a como es ejecutada la extracción del mineral, pudiendo realizarse de 2 maneras: a cielo abierto y subterránea, dependiendo, entre otros factores, de las características físicas de la roca caja. En la carta fueron separadas 3 tipos de "formas" de labores mineras:

- **Frentes**

Ejecutados sobre roca "dura" o "blanda" groseramente lineales, con paredes de ataque verticales, donde se distingue claramente el piso y el techo de labor minera

- **Frentes con galerías**

Actividad extractiva subterránea, donde a partir de un frente vertical se avanza hacia el interior del macizo rocoso por medio de túneles.

- **Zonas de cavas**

Dentro de zonas con alta favorabilidad minera se ejecutan fosas (o cavas) de forma y tamaño muy variado.

B. Estado

Como se mencionó anteriormente se relevaron tanto labores mineras activas como inactivas.

Dado la dinámica de este distrito minero, donde zonas en explotación pueden pasar a ser inactivas y viceversa en cortos periodos de tiempo, se optó por considerar activas a todas aquellas labores mineras que declararon producción durante el año 2006.

Por otra parte, dentro de estas labores activas, pueden existir sectores abandonados o momentáneamente paralizados. Si durante el relevamiento se pudo identificar dichos sectores inactivos, los mismos fueron señalados en la carta.

C. Material

Se separaron en función de las características físicas que presenta el material portador de la mineralización, diferenciándose dos tipos básicos:

- Basalto blando: formado por material friable a medianamente tenaz, fácil a moderadamente "excavables", con medios manuales hasta equipos pesados como retroexcavadoras.

La gran mayoría de las formas definidas como frentes están excavadas en rocas basálticas "in situ" con un grado variable de alteración meteórica.

En las zonas de cavas suele presentar además, material basáltico con cierto grado de transporte (coluvión-aluvión) así como antiguas escombreras.

- Basalto duro: formado por material muy tenaz, "excavable" solo por medios muy enérgicos como barrenos y explosivos.

Es común en la literatura que se denomine a este tipo de material como basalto fresco o inalterado, lo cual lleva a pensar en una roca sin ningún tipo de proceso de alteración, lo cual a nuestro entender es incorrecto. Existen indicios de la actuación de procesos de tipo hidrotermal, por lo que preferimos utilizar un término que señale solo las características físicas-mecánicas del material explotado: "basalto duro".

		ESTADO	MATERIAL
FORMAS	Frentes con galerías	Activo / Inactivo	Basalto duro
	Frentes a cielo abierto	Activo / Inactivo	B. duro / B. Blando
	Cavas	Activo / Inactivo	B. Blando y/o Coluvión- Aluvión y/o escombrera

Figura 8.2-1 : Criterios de agrupación y clasificación de los elementos de Labores mineras relevados

SIMBOLOGIA	SIGNIFICADO	MATERIAL
	Frente con galería activo	Roca dura
	Frente con galería inactivo	Roca dura
	Frente a cielo abierto activo	Roca dura
	Frente a cielo abierto activo	Roca blanda
	Frente a cielo abierto inactivo	Roca dura
	Frente a cielo abierto inactivo	Roca blanda
	Zona de cavas activa	Roca blanda
	Zona de cavas inactiva	Roca blanda

Figura 8.2-2 : Simbología utilizada en las Carta de Labores de detalle del DGLC

La carta es una síntesis del relevamiento minero del distrito, en donde cada elemento minero fue identificado con un código (F=frente, C=cava) y con una simbología que esta en función del estado de la labor minera (activo / inactivo), de las características del material explotado y del método básico de extracción (a cielo abierto o subterráneo). Ver Figura anterior.

El documento gráfico es complementado con información adicional como :

- Perímetro y número de asunto minero activo y con extracción.
- Límites y números de padrones
- Trillos de acceso a las labores mineras.

El soporte geográfico esta representado por elementos de caminería, red hidrográfica y curvas de nivel cada 10 m. Este soporte fue realizado a través de la digitalización de las cartas 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar (K6-Paso Ricardinho, K7- Meneses, J6-Rincón de Pacheco y J7 Sepulturas).

La carta también va acompañada de 3 tablas con información adicional de cada elemento minero relevado (cavas, frentes y galerías).

En la práctica se resolvió presentar la Carta de Labores a dos escalas distintas. Una carta que abarca todo el distrito minero, con todas las labores relevadas a escala aproximada 1:30.000. Y otros cuatro documentos (a escala aproximada 1:10.000), que abarcan solo una parte del distrito, pero presentan mayor detalle e información. Ver Figura 8.2-3 / Anexo 8

Por último a manera de visión global de todo el distrito se presenta un resumen por elemento minero :

Frentes

Fueron relevados un total de 111 frentes o tramos de frentes en todo el DGLC. Del total, 44 (~ 40 %) estaban activos a la fecha de ejecutado el trabajo de campo (agosto – noviembre del 2006) y 75 (~ 68 %) trabajaban sobre basalto blando. La longitud de cada elemento relevado como frente varió entre 20 m (posiblemente actividades de tipo exploratoria), hasta más de 1300 m, con altura en general no superiores a los 4-5 m. Ver Tabla 8.2-1 / Anexo 8

Frentes con Galerías

Fueron relevados 37 frentes en roca dura con extracción subterránea, con un total de 284 bocas de entrada. Es muy común en labores muy desarrolladas, la bifurcación de túneles, por lo que el número de bocas relevadas es siempre igual o menor al número de túneles. Aquellos túneles con profundidad máxima menores a 5 m posiblemente sean labores de tipo

exploratorias. Del total de frentes con galerías 17 (~ 46 %) estaban activos a la fecha del relevamiento.

Las bocas presentan alturas de entre 2,5 a 3,5 m, ancho entre 3,3 a 7,0 m y separación entre bocas de 2 hasta 9 m. Ver Tabla 8.2-2 / Anexo 8

Zona de Cavas

Fueron relevadas 41 zonas dentro de las cuales se utiliza la modalidad de extracción definida como cava. Al momento de la visita estaban 10 activas (~ 24 %).

Los límites de estas zonas son en general muy irregulares e incluso difusos, por lo que para su delimitación se utilizó, además de los datos de campo (puntos de GPS), las imágenes satelitales de detalle previamente georeferenciadas. Por lo tanto el área calculada debe tomarse solo como una estimación muy grosera.

En general el área que ocupan las zonas de cavas varía entre 1.500 m² hasta un poco más de 300.000 m², con zonas donde pueden existir más de 100 cavas y profundidades máximas de 3-4 m. Ver Tabla 8.2-3 / Anexo 8

8.3 Métodos Extractivos

Como ya fue mencionado, existen dos formas básicas de explotación de ágatas y amatistas, una es a cielo abierto y otra en forma subterránea. La elección de un método u otro, está relacionada con las características físicas del basalto mineralizado (roca dura vrs. roca blanda), con las características propias de la mineralización (cantidad, tamaño y calidad de geodas de amatistas), de la posición topográfica del yacimiento (zonas planas y bajas vrs. zonas altas con cierta pendiente), etc..

8.3.1. EXTRACCION A CIELO ABIERTO

Esta modalidad de extracción puede ser ejecutada bajo dos formas básicas: en frentes excavados tanto en roca dura como blanda y en cavas sobre roca blanda.

La operativa básica de arranque de basalto mineralizado blando, tanto en la modalidad de frentes como cavas, es muy similar.

En zonas con cierta pendiente, con rocas blandas mineralizadas, la metodología más utilizada es el arranque con retroexcavadora, generando

paredes verticales, más o menos continuas, relativamente estables (Frentes) y avanzando desde las zonas bajas hacia zonas altas. Ver Figura 8.3-1 / Anexo 8

En áreas planas o con muy poca pendiente la extracción suele también realizarse con retroexcavadora, pero en forma de cavas, especie de fosas de forma comúnmente rectangular, longitud de algunos metros hasta decena de metros y diseminadas a lo largo del depósito.

Esta modalidad de extracción, genera en muchas labores mineras un "paisaje" caótico, donde se alteran fosas (pueden existir más de 100), montículos de escombreras y áreas planas sin trabajar o ya compactadas y edafizadas. Ver Figura 8.3-2 / Anexo 8

En la modalidad de "frentes" el material explotado es principalmente basalto in situ muy alterado.

En la modalidad de cavas el material explotado puede ser basalto in situ, niveles de coluvión-aluvión, antiguas escombreras o una mezcla de todos ellos.

En la práctica, la mayoría de las labores actuales o pasadas presentan una modalidad de extracción mixta, en forma de frentes y cavas, siendo actualmente el material explotado basalto con alteración meteórica in situ y escombreras "ricas" y en forma subordinada coluvión-aluvión y basalto sin alteración meteórica (roca dura). Ver Figura 8.3-3 / Anexo 8

En ciertos sectores de los frentes, se alcanzó niveles de roca dura mineralizada, sobre los cuales algunos mineros realizaron experiencias de explotación con explosivos.

Esta modalidad de extracción a cielo abierto, sobre basalto mineralizado sin alteración meteórica (roca dura), se ejecuta a través de la utilización de martillo neumático y materiales explosivos.

La operativa de arranque del basalto portador, así como el "descalce" de geodas del macizo rocoso (corte), es muy similar a la ejecutada en la modalidad de extracción subterránea, la cual se describe en detalle más adelante. Ver Figuras 8.3-4 / Anexo 8

8.3.2 EXTRACCION SUBTERRANEA

Esta modalidad de explotación comenzó a desarrollarse en Artigas a principios de la década del '90, en la región de la Cordillera, aplicando la experiencia de los mineros de la región de Alto Uruguay (R.G.S.-Brasil), en donde esta práctica ya tienen entre 30 y 35 años (Amorín V. , et al. -2005). En muchas canteras, si no en todas, la actividad subterránea fue precedida por extracción a cielo abierto, en frentes de roca dura y/o blanda.

Varios son los elementos que se tienen en cuenta a la hora de decidir el comienzo de la actividad subterránea, siendo un factor de mucho peso la relación entre roca portadora y cobertura.

A medida que avanza la extracción en roca dura, desde zonas topográficamente bajas hacia zonas altas, aumenta el espesor de material estéril ubicado por encima del nivel mineralizado, hasta el punto en que los costos de remoción del material estéril hace inviable la continuidad de la extracción a cielo abierto. Ver Figura 8.3-1 / Anexo 8

No es menos importante la presencia de una "adecuada" mineralización en términos de cantidad, tamaño y calidad de geodas. Todas las labores subterráneas, tienen como principal objetivo extraer geodas enteras, de tamaño y mineralización adecuada que alcanzan altos valores de comercialización, lo que permite viabilizar económicamente el emprendimiento.

Antes del comienzo de la extracción propiamente dicha, existe una etapa de destape y preparación de un sector del yacimiento preseleccionado. Esta etapa pre-extracción tiene como cometido conformar una pared vertical de "ataque" (frente), así como rampas de acceso, zonas planas adyacentes al frente para circulación de vehículos y canales de desagüe.

Una vez conformado el frente, comienza realmente la actividad minera subterránea, con el avance hacia el interior el macizo rocoso (nivel mineralizado) a través de la realización de túneles (o galerías) perpendiculares al frente (al menos al principio). Ver Figura 8.3-5 / Anexo 8 La intensidad y dirección del avance está condicionada por la existencia (o no) de mineralización y de las características de la misma (tamaño, cantidad y calidad del relleno silíceo de geodas). Dado que el conocimiento previo del yacimiento es muy escaso, este avance es lento y "aleatorio", lo que produce abandono de túneles, ramificación e interconexión de los

mismos, así como generación de grandes espacios internos (tipo cámaras) en labores más desarrolladas.

El techo de la labor subterránea es sostenido por columnas o pilares esculpidas en la propia roca, que junto con los túneles y espacios internos conforman una extracción mixta de tipo cámara-pilar y galerías.

Los mineros siguen ciertas reglas generales de seguridad estructural en la construcción de los túneles, que presentan en los informes técnicos ante DINAMIGE y que son reproducidas a continuación:

- Altura de túneles de por lo menos 2 m., para el ingreso de maquinaria, pero no más de 3 m. para evitar debilitamiento de la estructura.
- Estructura abovedada para conseguir máxima resistencia estructural.
- Dejar en forma bien distribuidas columnas de sostén esculpidas en propio basalto.
- Espesor de material “duro” encima de túneles de por lo menos 1,5 m.
- Piso lo más regular posible para un tránsito seguro y con drenaje hacia el exterior.
- Prever la intercomunicación de túneles linderos a los efectos de mejorar la circulación de aire y circulación forzada para túneles muy profundos.
- Distancia mínima de 15 m. entre frente y escombrera para una correcta circulación de vehículos.

La extracción (y búsqueda) de geodas por el método subterráneo, es un proceso lento e intensivo en mano de obra.

El frente de trabajo, por túnel, tiene un área variable entre 9 a 20 m² y pueden distinguirse dos sectores.

- a. Sector central del frente de trabajo, de hasta 2 m. de altura, donde se concentra la mayor parte de la mineralización.
- b. Zona inferior (piso) y superior (techo) del túnel, de espesor total en general menor al metro y con escasas o nulas geodas.

En esta zona central “rica” es donde se concentra el mayor esfuerzo y atención al avanzar la explotación, la cual en forma esquemática se ejecuta de la siguiente manera:

Realización de perforaciones con martillos neumáticos livianos (10 a 12 kg.) para la generación de barrenos que comúnmente tienen entre 50 a 80 cms. de profundidad y alrededor de 3,2 cms. de diámetro. Todos los barrenos son realizados en forma sub-vertical, de tal manera que el empuje de la combustión sea hacia la cara libre del frente.

El material explosivo, utilizado en esta zona central, es pólvora negra elaborada por el Servicio de Material y Armamento del Ejército (S.M.A.). Este material tiene la ventaja de poseer una baja velocidad de combustión lineal, por lo que no se producen ondas de choque, lo que evita la rotura de las geodas.

La carga de los barrenos se realiza con pólvora "suelta" utilizando un "trozo" de manguera cortada longitudinalmente o con cartuchos de papel rellenos de pólvora elaborados previamente. En ambos casos se introduce un cable conductor que en su extremo contiene un hilo metálico que actúa como inflamador.

La carga con pólvora ocupa aproximadamente 15 a 20 cm. del fondo del barreno, el resto de la columna se completa con polvo de perforación (previamente zarandeado), conocido como tapón.

Por último la columna es estacada (apisonada) con una barra de madera o plástico.

Luego de preparado cada barreno (carga de pólvora + cable eléctrico con extremo de hilo + tapón + atacado) la etapa siguiente es la iniciación.

Esta se realiza, generalmente de un barreno a la vez y a través del pasaje de corriente eléctrica por el cable hasta el "hilo" que inflama la pólvora produciendo la deflagración de la misma.

Los gases calientes liberados durante la reacción empujan la roca hacia la cara libre, produciendo el desmonte de zonas del frente de trabajo.

Algunos indicios indirectos que tienen los mineros para suponer la proximidad de una geoda son: manchas de humedad aisladas en algún sector del frente de trabajo, presencia de cristalización de cuarzo ("garras" en la terminología minera) y polvo con fragmentos de cuarzo y/o agua cuando se ejecutan los barrenos. Es común la práctica de cateos para verificar si estos indicios se corresponden o no con geodas.

En el caso que se localice una geoda, se procede a evaluar la calidad de la misma : tamaño, forma y mineralización. Para ello se realiza un pequeño

orificio por donde se introduce una lámpara que permita iluminar el interior y así realizar una inspección ocular.

La evolución es de tipo económico, ya que en definitiva se trata de estimar si el valor que alcanzará la pieza en el mercado justifica el costo/tiempo que insume el "corte" de la misma.

En el caso de que la evaluación sea positiva se detiene el avance con pólvora y se procede a extraer la pieza entera. Este es un proceso lento y delicado, que puede llegar a demorar varias semanas, en caso de grandes geodas y de forma irregular.

El procedimiento básico, de corte, consiste en la ejecución de perforaciones (normalmente del orden de decenas), con martillo neumático una al lado de la otra. Las perforaciones son ejecutadas a una distancia de entre 10-15 cms. del borde de la geoda, estimado durante la etapa de inspección ocular. Esto permite que la pieza presente una corteza de basalto que la protegerá de posibles golpes durante las etapas de extracción, retiro de la galería y traslado al taller. Cuando las piezas son muy grandes, a veces se ejecutan "tiros" (desmonte con pólvora) en zonas laterales para poder acceder a cortar la parte posterior. Ver Figura 8.3-5 / Anexo 8

En el caso que no se localice ninguna geoda o las mismas sean de baja calidad y evaluadas negativamente, se prosigue con el avance del frente a través del desmonte con pólvora, hasta localizar una geoda.

Para la zona inferior y superior del frente de trabajo, donde no suelen existir geodas, el procedimiento de avance es algo distinto. Estas zonas, en especial el piso donde la roca está más "incrustada", es común la formación de irregularidades (repie) al avanzar el túnel.

Para mantener el piso relativamente plano, así como para avanzar más rápido en las zonas estériles, se utiliza una sustancia más potente que la pólvora. El explosivo más común es el URUANFO, Anfo granular fabricado por el S.M.A. (Anfo = nitrato de amonio + un combustible como fuel-oil), complementado con cordones detonantes, detonadores y mechas lentas. Este material explosivo, con alta velocidad de combustión lineal, al detonar produce fracturación de la roca en la zona de piso y techo.

El procedimiento básico consiste en el cargado de los barrenos con Anfo (en general encartuchado en bolsas de nylon) conjuntamente con tramos de

cordón detonante. Luego se completa el barreno con polvo (tapón) y estacado de la columna.

El esquema de conexión e iniciación de los barrenos puede presentar algunas variantes, el utilizado por una de las labores mineras visitadas y según las manifestaciones de su capataz-barrenista es: encendido con fuego una mecha lenta que inicia un detonador conectado a un cordón detonante, que actúa como ramal principal, al cual están unidos los tramos de cordón detonante de cada barreno, previamente preparado.

La operación minera subterránea se complementa con el retiro periódico de material estéril, generado durante las etapas de desmonte de la roca y corte de geodas y de las geodas con "cáscara" de basalto que pueden pesar varios miles de kilos. Ver Figuras 8.3-6 / Anexo 8.

Para ello se utiliza una pala mecánica pequeña que pueda maniobrar dentro de los túneles. La misma saca las piezas hacia el exterior así como extrae el material estéril desde el frente de trabajo hasta un camión ubicado en la boca del túnel, el cual deposita la carga en la escombrera. Ver Figuras 8.3-5 / Anexo 8.

8.4 Infraestructura e Insumos Principales

El equipamiento-maquinaria e insumos básicos utilizados en la extracción de ágatas y amatistas dependen de cada empresa, pero en general es bastante similar dentro de cada labor minera con el mismo método extractivo (a cielo abierto o subterráneo).

Para las labores a cielo abierto, independientemente de la forma de extracción, cavas o frentes, el equipo utilizado para el arranque es similar y consiste en una o varias retroexcavadoras. También es común la presencia de un vehículo de carga mediano para el traslado de material silíceo desde la zona de extracción a la playa de acopio y clasificación, así como para otras tareas como traslado de personal, de herramientas y combustible.

Algunas labores cuentan también con palas mecánicas, tractores con trilla y topadoras, en especial en aquellas empresas donde se ejecutan tareas de recuperación ambiental.

El principal insumo en la explotación a cielo abierto es el gas-oil, especialmente para alimentar las retroexcavadoras que tienen consumos en el orden de 100-150 litros diarios por máquina.

El personal básico es un maquinista y 1 a 3 peones (“caveros” en la terminología minera) al pie de la retroexcavadora con la tarea de separar las geodas del basalto, clasificarlas (ágata masa, listada y amatista) y controlar, con una barreta, las características del material que se esta arrancando.

Para las labores subterráneas el equipamiento es mayor y más variado, así como mayor cantidad de personal y muchos de ellos especializados.

La principal herramienta utilizada es el martillo neumático, en general de pequeño tamaño (entre 9-11 kg) así como algunos más grande para tareas específicas (entre 18 a 24 kg). Otro equipo imprescindible son los compresores, que junto a decenas o cientos de metros de caños metálicos y de goma alimentan de aire comprimido a los martillos.

Otro equipo común es una pala mecánica pequeña, para el retiro de estéril y geodas de dentro del túnel, así como un vehículo para el traslado del personal, herramientas, combustible, las geodas a los talleres, etc..

Uno de los insumos más importante es el gas-oil, principalmente para alimentar los compresores.

El otro insumo importante es el material utilizado para el desmonte de la roca, como Uruanfo, Pesmigel y pólvora así como elementos iniciadores (detonadores, cordón detonante y mechas).

El consumo anual y por labor de este material es muy variable, pero solo a los efectos de tener una idea del nivel de consumo, se presenta en la siguiente tabla valores promedios anuales por labor minera de explosivos solicitados por los canteristas en el DGLC.

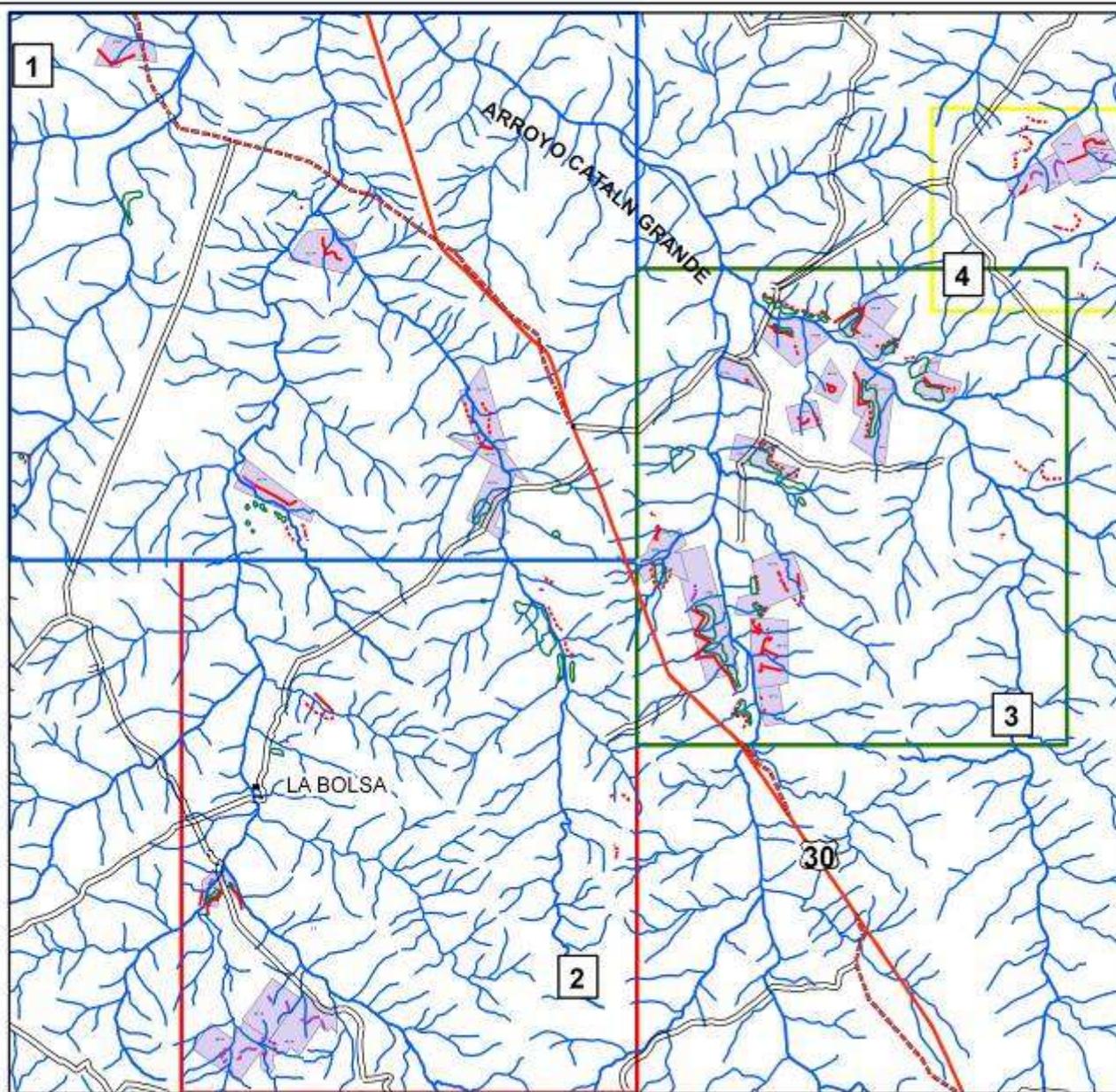
	Explosivos : Uruanfo + Pesmagel (kg)	Pólvora (kg)	Total material explosivo (kg)	Cordón detonante (m)	Mechas (m)	Detonadores (Unidades)
Cantera 1	5.280	300	5.580	42.000	2.700	3.600
Cantera 2	990	294	1.284	8.125	665	675
Cantera 3	8763	964	9.727	43.000	2.871	7.543
Cantera 4	9.650	1.650	11.300	69.750	4.617	10.133
Cantera 5	10.125	575	10.700	29.125	7.750	5.438
Promedio por cantera en base a la solicitud de explosivos en los últimos años						

Tabla 8.4-1 : Consumo anual de material para el desmonte de roca

La cantidad de personal varía en función de la operativa de la mina, pero según la información recogida en las labores subterráneas relevadas, el personal variaba entre un mínimo de 3 a un máximo de 30. Siempre por lo menos uno de ellos es barrenista, que es el encargado del desmonte del frente.

Anexo 8

Figura 8.2-3 : Carta de Labores Mineras del Distrito Gemológico Los Catalanes



CARTA DE LABORES MINERAS DEL DISTRITO GEMOLOGICO LOS CATALANES

LEYENDA DE CARTA GENERAL DEL DGLC

SIMBOLOGIA DE LABORES

FORMA	ESTADO	
	Activo	Inactivo
Cavas		
Galerias		
Frentes		

LIMITES DE ZONAS AMPLIADAS EN LAS CARTAS 1, 2, 3 y 4

- Zona Catalán Chico-Juan Fernández
- Zona La Bolsa-Cordillera
- Zona. Catalán Grande-Catalán Seco
- Zona Sanitío



0 2.500 5.000 m

PROYECTO AGATAS Y AMATISTAS

FASE I : Cartografía Geológica y Relevamiento Minero del DGLC

DINAMI GE - División Geología



Figura 8.3-1 : Foto superior arranque con retro de basalto geódico blando en forma de frente. En el piso se observan "asomos" de basalto geódico duro. En la foto inferior ya se comenzó a trabajar en frente sobre roca dura con barrenos y explosivos. Esta zona posiblemente se explote más adelante en forma subterránea. En primer plano se ve a un obrero cortando una pequeña geoda con martillo neumático.



Figura 8.3-2 : En la foto superior se observa típica zona de cavas, en la planicie del Catalán Grande, generando un paisaje muy caótico, con la alternancia de fosas y montículos. En la foto inferior se observa gran cantidad de pequeñas cavas dispersas de tipo exploratorias , sobre un plano formado por basalto geódico alterado in situ y un nivel de coluvión mineralizado.



Figura 8.3-3 : Tipo de extracción en forma de cavas y mixta. Foto superior cerca de 6 m de roca blanda que incluye basalto mineralizado in situ alterado, tapado por escombreras "ricas", que también son explotadas. La operativa incluye 3 retroexcavadoras que permiten trabajar en varios niveles y alcanzar gran profundidad. En primer plano, en el piso de la cantera aflora basalto tenaz (roca dura) de donde se extraen grandes geodas. En la foto inferior se observa en primer plano (donde se ubica la máquina) extracción en forma de cavas sobre material blando (Coluvión) y al fondo extracción en forma de frentes en roca blanda (basalto geoidal alterado in situ).



Figura 8.3-4 : En la foto superior se observa el corte con martillo neumático de una enorme geodas (aproximadamente 2 toneladas) en un frente sobre roca dura a cielo abierto. En la foto inferior, detalle de la misma geoda donde se observa la dimensión de la pieza y la cantidad de barrenos que deben ejecutarse para extraer la geoda. La metodología de corte es la misma que se utiliza para arrancar geodas en los tuneles por el método subterráneo.

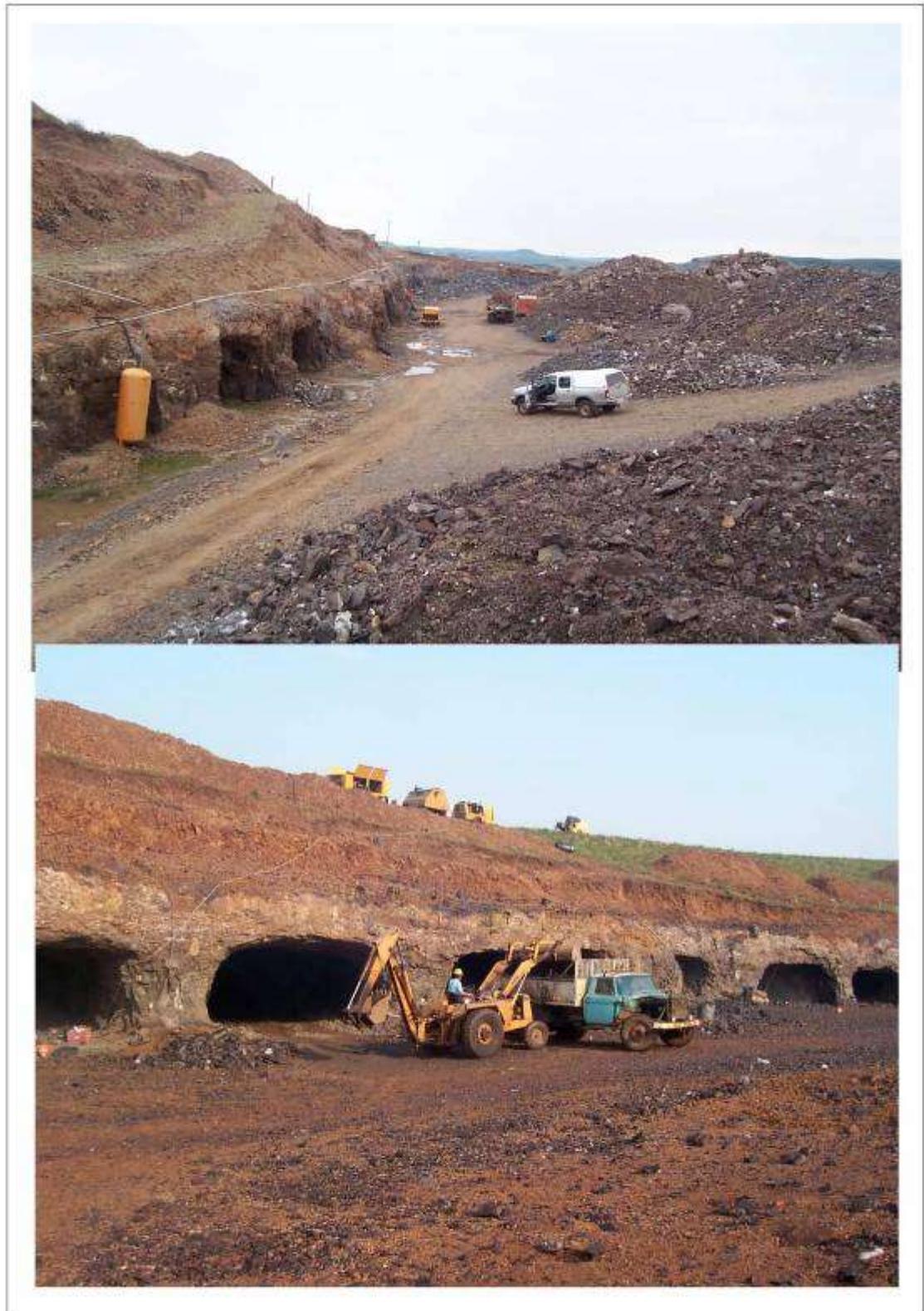


Figura 8.3-5 :Explotación por el método subterráneo, sobre basalto duro. Cada boca tiene una altura máxima de 3 m y presenta 1 o mas tuneles. Se observa los compresores encima de las bocas y la cañería para el producción y suministro de aire comprimido a los martillos neumáticos. Además el corredor de circulación que queda entre el frente y la escombrera (foto superior) y el retiro con pala mecánica del material generado en el interior del túnel al avanzar la explotación(foto inferior).

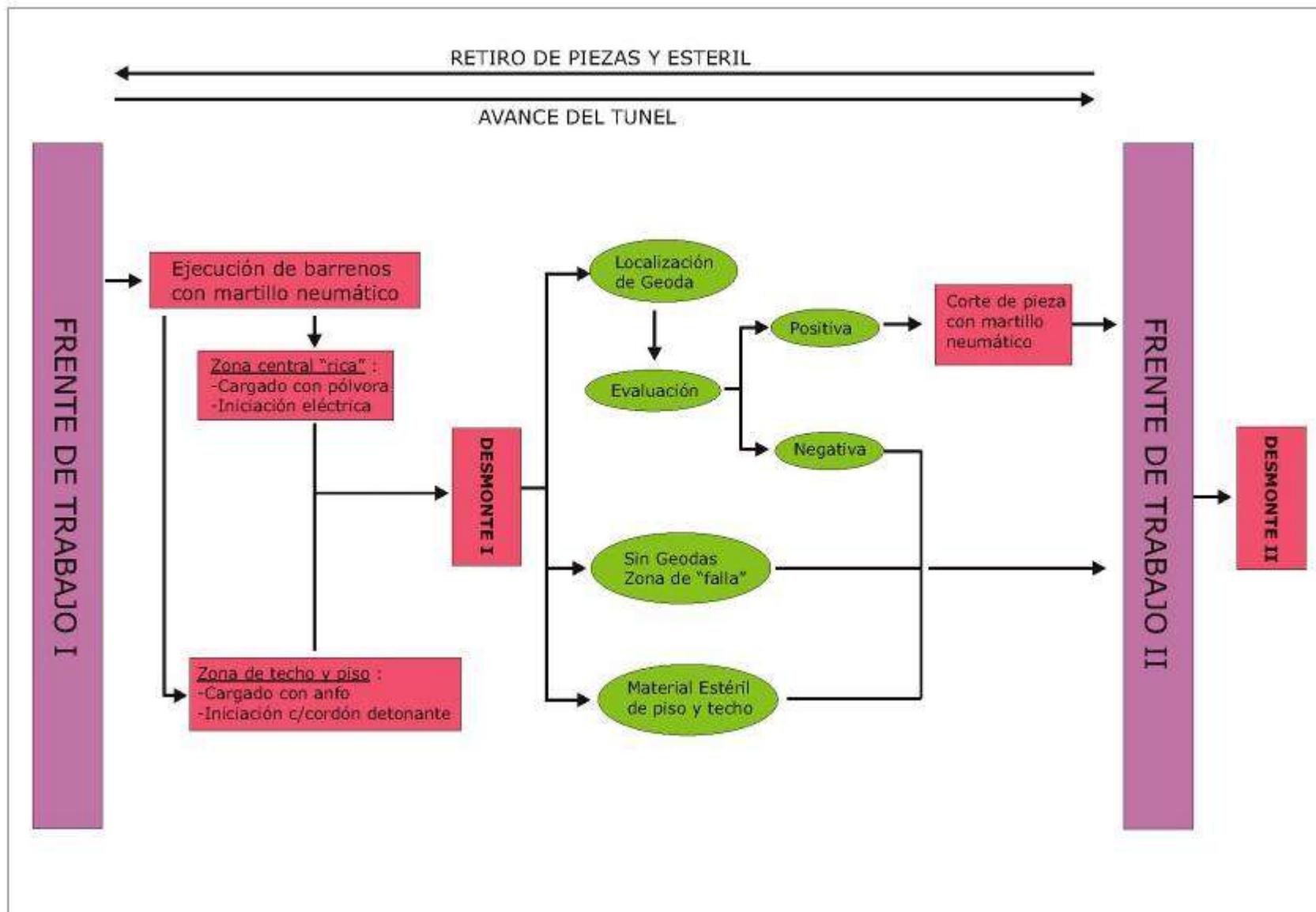


Figura 8.3-6 : Ciclo de extracción de geodas por el método subterráneo

9 ASPECTOS GEO-ECONOMICOS DE LAS AGATAS Y AMATISTAS

9.1 Producción

La explotación actualmente se concentra en una pequeña zona al S-SW de la ciudad de Artigas, en donde se localizan unas 21 canteras activas (ver Capítulo 6 Actividad Minera).

El material explotado es básicamente ágata y amatista (ver Capítulo siguiente) en labores tanto a cielo abierto como subterráneas.

La producción total (agata+amatista) anual promedio, para el período 1977-2006 fue de 1305 toneladas, con un pico de producción en el año 2004 donde se alcanzó casi las 14 mil toneladas (95 % de las cuales corresponde a ágata).

Para la mayoría de los años la producción de ágata fue superior o muy superior a la de amatista, estando en una relación promedio ágata/amatista de 70/30.

La producción de ágata durante la mayor parte del período considerado (1977 al 2006) se mantuvo generalmente por debajo de las 250 toneladas anuales.

Al principio del 2000, en particular en los últimos 4 años analizados, se produce una verdadera “explosión” en la extracción, con volúmenes de hasta 70 veces mayor que la producción histórica promedio anual de este material.

Este enorme crecimiento de los últimos años, en la actividad extractiva, es empujado principalmente por las ventas al mercado Chino de la variedad conocida como ágata masa. Ver Tabla 9.1-1 y Figura 9.1-1 / Anexo 9.

La producción de amatista es irregular, con cierta tendencia a presentar períodos de mayor producción, alternando con períodos de menor actividad, a la manera de ciclos productivos. Se destacan en especial dos períodos, el comprendido entre los años 1991 y 1996, con volumen de producción superiores a las 250 toneladas anuales y , particularmente, el cuatrienio 2003 al 2006, donde se alcanza registros históricos, con valores de producción que se multiplican por cuatro con respecto al promedio anual del período y se sitúan en el entorno de las 400 toneladas. Ver Tabla 9.1-1 y Figura 9.1-2 / Anexo 9.

PRODUCCION DE AGATA Y AMATISTA (valores en toneladas)							
Año	Agata	Amatista	Total	Año	Agata	Amatista	Total
1977	803	38	841	1992	252	161	413
1978	184	32	216	1993	142	160	302
1979	169	59	228	1994	174	136	310
1980	285	62	347	1995	242	72	314
1981	129	46	175	1996	67	154	221
1982	94	21	115	1997	74	62	136
1983	53	24	77	1998	270	48	318
1984	108	21	129	1999	362	45	407
1985	31	29	60	2000	104	33	137
1986	50	44	94	2001	452	136	588
1987	64	50	114	2002	1004	140	1144
1988	142	80	222	2003	5361	390	390
1989	79	50	129	2004	13513	428	428
1990	54	77	131	2005	10165	411	411
1991	248	154	402	2006	18844	474	18844

Tabla 9.1-1 : Producción de ágatas y amatistas en el período 1977-2006.

9.2 Productos Comercializados y Precios

9.2.1 PRODUCTOS

En el distrito gemológico de Los Catalanes se explota y comercializa un gran número de productos que tienen en común su composición química-mineralógica (SiO_2 /cuarzo) y que aparecen comúnmente, en diferentes proporciones, dentro de un mismo tipo de depósito (geodas rellenas de amatistas y/o ágatas dentro de basaltos).

Las distintas variedades de cuarzo extraído/comercializado se diferencian en base a su grado de cristalización (calcedonia/ágatas vrs. cuarzo cristal) y color (cuarzo incoloro vrs. amatista).

Las amatistas se extraen en forma de "lajas" (trozos de geodas) en yacimiento de roca "blanda" (basalto con alteración meteórica y/o coluvión-aluvión) o en menor medida en yacimientos de roca "dura".

La extracción de piezas enteras (geodas) rellenas de amatistas se realiza en roca "dura", principalmente a través de labores subterráneas.

La variedad microcristalina fibrosa de cuarzo (calcedonia y ágata) aparece asociada a la amatista y es extraída de los mismos yacimientos de roca "blanda" en donde se localizan las lajas de amatista.

9.2.1.1 Productos derivados de la amatista

Básicamente se obtiene, de los depósitos de la región Los Catalanes, 2 tipos de productos en base a la piedra amatista :

- geodas de diferentes tamaños y formas y rellenas parcialmente, desde la periferia al centro de calcedonia/ágata-cuarzo blanco-amatista. La cáscara puede estar cubierta con una película de color verde (celadonita ?). Además en general, a las geodas se les deja una delgada capa exterior de basalto, principalmente cuando son muy grandes o el nivel de ágata es muy delgado
- fragmentos de geodas, conocidas genéricamente como “lajas”.

Las geodas de buen tamaño y calidad de cristalización son vendidas como piezas enteras para ornamentación / colección o pueden ser “desmontadas” (fragmentación de la pieza) para la extracción de picos para lapidación.

En el caso de decidir la venta del material como piezas enteras, estas pueden ser comercializadas de dos formas :

- Piezas enteras “cerradas”, a las cuales solo se les practica un descascarado, con el fin de quitarle el exceso de la cáscara basáltica. Presentan un pequeño orificio por donde se aprecia la calidad de la mineralización.
- O pueden ser cortadas para exponer la mineralización. El tipo de corte depende de la forma, tamaño y las características de la mineralización, pudiendo obtenerse 1 o 2 piezas por geoda. Es común, además, la ejecución de distintas tareas de “acondicionamiento” de la pieza como :
 - reparación de piezas con fracturas usando pegamentos y/o envoltura con una malla metálica y cemento si la pieza está en muy dañada.
 - limpieza de superficie mineralizada con productos especiales que le dan brillo a los picos de amatista.
 - pulido de la zona de corte.

Las lajas son vendidas en bruto o con algún grado de procesamiento menor, como ser cortes con sierra a los efectos de uniformizar forma y tamaño de la pieza, limpieza para dar brillo a la mineralización, etc. También pueden ser desgranadas para la obtención de picos para lapidación o cristales de

baja calidad para ser tamboreados y vendidos para realizar diferentes productos artesanales. Ver figura 9.2-1 / Anexo 9.

Según Juchem-1999 el proceso de calificación de amatista es realizado en cuatro etapas en las cuales se evalúa :

- a. Calidad de la geoda.
- b. Calidad y variedad del relleno mineral de la geoda.
- c. Calidad de los cristales.
- d. Calidad de las puntas de los cristales.

a. Calidad de la geoda

La primera clasificación se realiza en el propio yacimiento antes de retirar la geoda del frente de trabajo. Por un lado se observa la forma y principalmente el tamaño y por otro lado se evalúa la calidad de la mineralización a través de la práctica de un pequeño orificio abierto en la geoda.

Es de destacar que la evaluación del tamaño está directamente relacionado con las características de la mineralización. Pequeñas geodas (0,50 m o aun menores) pueden ser extraídas y comercializadas como piezas de ornamentación si la mineralización es de buena calidad. A su vez geodas con mineralización más “débil” pero de buen tamaño y/o forma también pueden ser vendidas como piezas únicas.

Otro factor a tener en cuenta es que muchas veces se comercializa este material en lotes, en los cuales se suele intercalar piezas buenas con otras de menor calidad.

En una etapa posterior, generalmente en el taller de la empresa, se realiza una clasificación más minuciosa y se define el destino final de la pieza : como geoda para ornamentación o para la obtención de cristales lapidables.

Tamaño y forma son aspectos a tener en cuenta : en general tamaños grandes (por ejemplo superiores al 1 m) y formas más regulares o muy raras (exóticas) son más apreciadas y por lo tanto más valiosas. [Juchem – 1999].

El tamaño de geodas extraídas en Los Catalanes es muy variado, desde piezas de 30 kilos hasta mega-geodas de varias toneladas (desde 30-50 cm hasta 2-2,5 m de eje mayor). El promedio que hemos observado en las

canteras visitadas esta entre 50 y 100 kg y las formas más comunes parecen ser geodas cilíndricas, elipsoidales, esféricas aplanadas e irregulares.

La superficie exterior debe ser lo más homogénea posible y es apreciada la existencia de una película verde de arcilla (celadonita) .

El casco de la geoda, que comprende la corteza externa de basalto, la periferia de ágata/calcedonia y cuarzo blanco intercrecido, debe ser lo más fino posible, o puede ser relativamente grueso si el color/diseño del ágata realza la belleza de la pieza en su conjunto . [Juchem – 1999, Branco & Gil - 2002].

a. EVALUACION DE GEODAS		
CARACTERISTICA	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
Tamaño	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor de 0,5 m o mejor 1,0 m (+ de 50 kg) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Centimétrico a decimétrico
Forma	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regular ▪ Exótica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irregulares
Corteza exterior	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regular y homogénea 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irregular
Casco	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poco espeso ▪ Regular 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy espeso ▪ Irregular

Tabla 9.2-1 : Criterios para la evaluación de las geodas mineralizadas con amatista (levemente modificado de Juchem-1999).

b. Calidad y variedad del relleno mineral de la geoda.

La proporción relativa de cada fase silicosa (ágata – cuarzo incoloro – amatista) es un factor a tener en cuenta en la evaluación. En general, cuanto mayor cantidad relativa de amatista, más bella será la pieza que se comercializa entera o se podrán obtener mayor cantidad de picos lapidables.

La presencia de minerales secundarios, el hábito y color de los mismos y su distribución sobre los cristales de amatista es otro factor a evaluar.

Por ejemplo la presencia, en alguna zona de la geoda, de agregados de calcita centimétrica, de hábito escalenoendrico y color blanco a incoloro (a manera de pequeñas estalactitas) con un fondo violeta, realza la belleza de la pieza y por lo tanto es mas apreciada. Por lo contrario, la presencia de agregados cristalinos de, por ejemplo, calcedonia o cuarzo microcristalino en forma de una fina película o pátinas de óxidos-hidróxidos de Fe/Mn,

“matan” el brillo y le quitan limpidez a los cristales, lo que desvaloriza las piezas para ornamentación.

b. EVALUACION DE LA MINERALIZACION DE LA GEODAS		
MINERALIZACION	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
Calcedonia/ágata	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capa fina ▪ Capa gruesa con diseño atractivo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capa espesa de baja calidad
Cuarzo blanco	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausencia o capa fina 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capa espesa
Amatista	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capa espesa ▪ Cristales bien formados y grandes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capa fina ▪ Cristales muy pequeños y/o intercrecidos
Otros minerales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Color y hábito adecuado ▪ Distribución localizada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capas o pátinas continuas que recubren la mineralización principal

Tabla 9.2-2 : Criterios para la evaluación de geodas mineralizadas con amatista (levemente modificado de Juchem-1999).

c. Calidad de los cristales

Una de las observaciones más importante es el color de los cristales de amatista. No existe una escala única para la clasificación de color, pero es común la agrupación en categorías de 1^{ra} hasta 5^{ta} o 6^{ta} (violeta muy oscuro, oscuro, medio, claro y muy claro) y a veces se utilizan las categorías extra y super extra para cristales de excepcional color. Si bien estas categorías pueden ser utilizadas tanto para las piezas en bruto como para los cristales lapidables, la uniformidad y distribución del color tiene un peso diferente según el destino final de la geoda.

En general, para el material comercializado en bruto, el zoneamiento y distribución del color dentro de la pieza no es un factor muy relevante, salvo que el mismo esté concentrado en algunas zonas a la manera de “manchas” y comprometan la belleza del conjunto.

Por otra parte, los cristales para lapidación y principalmente su parte apical (conocida comúnmente como “picos”), deben presentar una coloración lo mas uniforme posible. Inclusiones minerales o manchas producidas por óxidos son perjudiciales o hasta descartan el cristal para lapidación, aunque pueden embellecer la pieza en bruto.

La limpidez de la amatista, determinada por la presencia de inclusiones y fracturas, puede no tener mucho peso en el material en bruto, pero es fundamental para el material lapidable. El tamaño de los cristales es otro factor a tener en cuenta a la hora de evaluar la mineralización. Cristales bien desarrollados de tamaño centimétrico son más apreciados, mientras cristales milimétricos son poco valorizados. [Juchem – 1999].

c. EVALUACION DE LOS CRISTALES DE AMATISTA		
CARACTERISTICAS	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
Color	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Violeta intenso ▪ Homogéneo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Violeta pálido ▪ Zonas muy contrastantes (manchas)
Limpidez	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pocas fracturas ▪ Pocas inclusiones 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fracturamiento intenso
Tamaño	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cristales grandes y bien formados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cristales muy pequeños y/o intercrecidos

Tabla 9.2-3 : Criterios para la evaluación de los cristales de las geodas con amatista (levemente modificado de Juchem-1999).

d. Calidad de las puntas de los cristales.

La clasificación de amatista en lapidable o no se basa en una evaluación detallada de los extremos del cristal ("picos"). Para lapidación son generalmente seleccionados cristales de buen color (categoría que va desde super-extra hasta 2^{da} calidad), diámetro aproximadamente igual o mayor a 1 cm para permitir el martillado y con extremos limpios. Las etapas básicas son generalmente : desmonte de la pieza para obtener los cristales individuales, martillado primario de los mismos para retirar partes incoloras o con débil y/o irregular color y martillado secundario (con martillo de corte) para retirar zonas defectuosas y así obtener las "puntas" donde generalmente se concentra el mejor color. Por último se realiza una nueva clasificación en base al color y tamaño de los picos obtenidos.

La geoda es considerada apta para el desmonte cuando presenta por lo menos el 25 % de cristales lapidables. Luego del desmonte y martillado se obtienen los "picos" que representan aproximadamente el 2 % del peso inicial de las geodas. En el proceso de lapidación habrá una pérdida del 75

% de la muestra, quedando al final un 0,5 % de piedra lapidada en la peor de las hipótesis. De tal manera, de una geoda de 100 kg de peso, luego del proceso de desmonte y martillado se obtendrán aproximadamente 2 kg de picos lapidables y 0,5 kg de gemas lapidadas. [Juchem – 1999, Branco & Gil -2002].

Según una información de una empresa de Artigas, de cada geoda desmontada se obtiene apenas 1 % de picos lapidables de tamaño mayor o igual a 7 g.

La decisión de desmontar o no una geoda es una relación de compromiso entre el valor de la piedra en bruto (pieza ornamental o de colección), el costo del trabajo de desmonte y martillado, la cantidad y calidad de “picos” lapidables posibles de obtener, valor de los mismos y de las exigencias coyunturales del mercado.

d . EVALUACION DE LAS PUNTAS DE CRISTALES DE AMATISTA		
CARACTERISTICAS	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
Color	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Violeta intenso ▪ Homogeneo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Violeta pálido ▪ Zonación y distribución irregular
Limpidez	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Buena transparencia ▪ Ausencia de fracturas e inclusiones 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poca transparencia ▪ Fracturas e inclusiones
Tamaño	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diámetro mayor a 1 cm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diámetro menor a 1 cm

Tabla 9.2-4 : Criterios para la evaluación de los picos de las geodas con amatista (Juchem-1999).

Algunas amatistas (tanto en forma de cristales individuales como lajas) de colores débiles pueden ser sometidas a procesos térmicos, para obtener un material de color que varia desde amarillo-anaranjado hasta marrón, conocido como falso citrino y que valoriza el material. Dada la forma de obtener este material es comúnmente conocido como piedra de “quema”.

No todas las piedras adquieren un color adecuado luego del tratamiento, sino que esto parece ser muy aleatorio, alcanzándose resultados muy diferentes para piedras de una misma zona, de un mismo yacimiento e inclusive para amatistas arrancadas muy cerca una de otra. Por este motivo y por que no existe un criterio preciso, para identificar a las piedras

adecuadas para la quema, es muy común que los mineros realicen ensayos primarios de la aptitud del material en el propio yacimiento, lo que asegura que los lotes que se trasladen al taller van a responder favorablemente al tratamiento térmico.

En el taller, el procedimiento común es someter a algunas muestras de un lote, previamente seleccionado, a calentamiento en forma gradual y dentro de recipientes con arena para evitar choques térmicos que dañen la piedra. A intervalos regulares se controla el color que va adquiriendo la piedra y la temperatura de ese momento. Cuando se juzga que se alcanzó el mejor color posible, se registra la temperatura, para ser utilizada en la quema del total de lote de piedra. Dicha temperatura generalmente esta en el entorno de los 350 a 475 °C. [Juchem – 1999, Branco & Gil -2002].

Para la piedra de quema de la zona de La Cordillera, la temperatura de quema está en el entorno de 480 °C . El material es sometido a dicha temperatura por 24 horas y el color aparece en el cristal al enfriarse el mismo.

Al igual que para la amatista se utilizan los mismos criterios de evaluación, como ser color, tamaño de cristales, etc, alcanzando precios similares a la variedad violeta.

9.2.1.2 Productos derivados del ágata.

La variedad microcristalina fibrosa de cuarzo (Calcedonia) es denominada en forma genérica por los productores como “ágata” independientemente de la presencia o no de bandeamiento. Básicamente se puede diferenciar dos tipos de esta variedad de cuarzo :

- geodas total o casi totalmente rellenas sin bandeamiento visible, conocida por los mineros como “ágata masa”;
- geodas rellenas de calcedonia con bandeamiento visible (verdaderas ágatas y conocidas genéricamente como ágata listada) generalmente con hueco central vacío o relleno con cristales de cuarzo macrocristalino.

Actualmente, muchos mineros extraen del yacimiento todas las piezas de ágata localizadas durante el proceso extractivo (práctica que lamentablemente no fue utilizada en el pasado).

Las distintas variedades de calcedonia son transportadas primero a una zona de acopio donde se realiza la clasificación primaria.

No existe un criterio uniforme de clasificación para la calcedonia y sus variedades (en adelante sencillamente ágata que es como se conoce a nivel del minero).

En la actualidad se está separando las geodas en dos grupos, por un lado el ágata masa y por otro el resto del material.

El ágata masa a su vez se clasifica en varias categorías en función de su peso, como por ejemplo : 1-3 kg, 3-10 kg, 10-20 kg y mayores de 20 kg. (algunos productores utilizan otras categorías que difieren muy poco de la mencionada).

Para el resto del material, muy heterogéneo, no existen criterios uniformes de clasificación, pero en general se tiene en cuenta aspectos tales como grado y tipo de relleno, presencia y diseño del bandeamiento, color y uniformidad, tipo y color de minerales asociados y tamaño de la pieza.

Actualmente casi toda el ágata masa extraída es exportada en bruto, en tanques de 200 l. (aproximadamente 280 kg), en bolsas de 500 y 1000 kg y a granel (cuando las piezas son muy grandes e irregulares).

Otra parte del ágata, tanto masa como listada (lamentablemente una proporción muy pequeña) sufre diferentes procesos de transformación en talleres especializados.

Dichos procesos incluyen tareas tales como aserrado, tratamientos térmico-químicos (teñido), perforación, pulido, tallado, etc., para producir una gran variedad de manufacturas en ágata. Esta variedad comprende tanto productos de decoración, de arte, de joyería y de aplicación como : morteros de ágata con pistilos, velas, ceniceros, candelabros, pirámides, jarrones, frasquitos, posa vasos, alhajeros, porta lapicera, juego de pinchos, destapadores, juego de cucharas, platos, abre cartas, racimo de uva, servilleteros, jaboneras, aprieta libro, obeliscos, cucharitas, ajedrez, anillos, diferentes figuras de animales, arbolitos, esferas, brazaletes, chapas, collares, dijes, llaveros, pendientes, porta incienso, pulseras, ágatas en forma de reloj, piedras de signos, etc. Ver Figura 9.2-2 / Anexo 9.

Dentro de los procesamientos más comunes se destaca el teñido, que tiene como objetivo la obtención de colores "artificiales" o resaltar los colores naturales del material. Según Bosi Tubino L. C. –1999 las etapas que

sufren las piezas para su teñido son las siguientes (ver Figura 9.2-3 / Anexo 9):

a. Corte con sierra con disco diamantado o sinterizados.

b. Limpieza de las piezas obtenidas con detergente, para remoción de aceites refrigerantes utilizados en el corte (suele hacerse en caliente).

c. Proceso de teñido

En una primera etapa se debería clasificar el material en 3 categorías :

- Chapas de coloración gris claro a oscuro, aptas para el tratamiento químico-térmico.
- Chapas con bandas de tonalidades amarillas y rojizas, aptas para tratamiento térmico (presencia de abundante óxido de Fe).
- Chapas de coloración natural con bandas negras, amarillas, blancas en combinación y/o formando diseños exóticos, que es más conveniente comercializarlas en forma natural.

El proceso de teñido puede ser realizado en frío o en caliente, presentando características diferentes para cada tipo de coloración deseada, como : tiempo de residencia en la solución, capacidad de impregnación de la solución colorante, temperatura de quema , etc..

Las chapas seleccionadas, se acondicionan en recipientes con las soluciones químicas adecuadas a temperatura ambiente (teñido en frío) o en baño maría a temperatura de 60° C (teñido en caliente).

El tipo de solución química para el teñido y el tiempo de residencia de la pieza en dicha solución es variable y depende del color deseado como se muestra en el siguiente cuadro :

Color deseado	Solución	Tiempo*
Rojo	Acido nítrico, limaduras de hierro o solución saturada de nitrato ferroso.	3 a 10
Verde	Acido crómico, cloruro de amonio y agua destilada.	3 a 11
Azul	-Primero se utiliza ferrocianuro de potasio y agua destilada.	3 a 5
	-Luego sulfato ferroso, agua destilada y ácido sulfúrico.	3 a 10
Negro	Azúcar quemada, agua destilada, ácido sulfúrico.	3 a 10

*Tiempo en días de residencia de la pieza en la solución colorante

Tabla 9.2-5 : Soluciones químicas características usadas para el teñido de ágatas.
Fuente Bosi Tubino L. C. –1999.

d. Tratamiento térmico-quema.

Primeramente se procede al lavado de las piezas provenientes del tratamiento químico, para remoción de exceso de solución química y secado en estufas para fijación de la solución colorante en poros del ágata.

Se acondiciona dentro del horno a las piezas, en recipientes con arena, para producir una adecuada reacción termoquímica.

La temperatura de quema varia de acuerdo con color deseado, pero en forma ideal está se ubica entre 240-260 °C para color amarillo, 200-220 °C para el color verde y 180 a 200 °C para el color negro, por un período de unas 24 horas para cada caso.

Las chapas de ágata pertenecientes a la segunda categoría (ágatas con bandas de coloración amarillas y/o rojizas) deben ser tratadas separadamente, a temperaturas de entre 220 a 260 °C por un período de 24 horas, para realzar la coloración original

e. Etapa de Acabado : las chapas son lijadas y pulidas.

f. La pieza puede terminar aquí su procesamiento o sufrir otros procesos para obtener diferentes objetos : tallado , lapidación, tamboreado, calibrado, etc..

9.2.2 PRECIOS DE VENTA

Los precios son muy variables no solo para el material elaborado sino también para el material sin procesar, ya que existe un gran número de categorías de calidad, principalmente en la variedad amatista.

En función de las declaraciones en las exportaciones y de las consultas a los canteristas, el material en bruto conocido como “ágata masa” se vende a un promedio de 0,25 U\$S / kg (alcanzando precios mayores las “bochas” más grandes).

El valor de las manufactura en ágata es extremadamente variable, pero para tener una idea y en base datos de la exportación, los morteros de ágatas con pistilo se venden a un promedio que ronda los 100 U\$S el kg o 20 U\$S la unidad.

Precio de venta de ágata en bruto (U\$S / Kg)				
	A Ñ O S			
	2003	2004	2005	2006
Promedio	0,25	0,26	0,25	0,25
Máximo	0,70	2,71	2,10	0,77
Mínimo	0,10	0,06	0,02	0,10

Tabla 9.2-6 : Precio de venta de ágata exportada entre el 2003 y el 2006.

El material exportado como amatista en bruto (que se correspondería mayoritariamente a lajas de amatistas) entre el 2003 y 2006 se vendió a un valor promedio de entre 2 y 4 U\$S el kilo. Geodas de amatista de calidad extra y super extra pueden alcanzar precios de entre 10 a 25 U\$S / kg. y geodas de menor calidad (1^{ra} a 3^{ra}) oscilar entre 3 a 12 U\$S / kg.

En el mismo período considerado más arriba, fue exportado material como amatista quemada o rough citrino o amatista bruto, a precios comprendidos entre 250 y 900 U\$S el kg. y valores puntuales de U\$S 4200 el kg. (posiblemente se trate de picos lapidables).

Solo como referencia, se muestra en las tablas siguientes precios manejados en el 2005 por, según la fuente, una empresa en la ciudad de Artigas para material tipo gema :

Peso gr.	Calidad Amatista gema según color						
	Súper extra	Extra	1 ^{ra.}	2 ^{da.}	3 ^{ra.}	4 ^{ta.}	5 ^{ta.}
0,1 a 0,3	1.250	1.000	750	400	300	150	100
0,3 a 0,5	2.000	1.600	1.000	650	400	220	150
0,5 a 1,0	2.925	2.340	1.530	1.000	640	350	200
1,0 a 2,0	5.400	4.320	2.340	1.350	900	550	300
2,0 a 3,0	7.500	6.000	4.140	2.300	1.700	400	400
3,0 a 5,0	10.500	8.400	5.800	3.900	2.900	1.400	600
> 5,0	11.125	8.900	6.500	4.500	3.300	2.200	900

Tabla 9.2-7 : Valor en U\$S / kg. de amatista gema en bruto, en función de su calidad y tamaño. Precios publicados en el 2005 por empresa en Artigas. Fuente : Documento del Plan de Refuerzo de la Competitividad (PRC) del conglomerado de las piedras preciosas de Artigas.

Peso gr.	Calidad Citrino gema según color						
	Súper extra	Extra	1 ^{ra.}	2 ^{da.}	3 ^{ra.}	4 ^{ta.}	5 ^{ta.}
0,1 a 0,3	400	300	200	150	100	50	30
0,3 a 0,5	670	450	300	200	120	70	40
0,5 a 1,0	1.000	750	500	350	200	120	60
1,0 a 2,0	1.550	1.200	800	550	350	200	100
2,0 a 3,0	2.000	1.550	1.200	800	500	300	140
3,0 a 5,0	3.100	2.300	1.500	1.100	650	400	200
5,0 a 7,0	4.300	3.200	2.100	1.350	900	500	250
> 7,0	5.300	3.900	2.500	1.500	1.100	550	300

Tabla 9.2-8 : Valor en U\$S / kg. de citrino gema en función de su calidad y tamaño. Precios publicados en el 2005 por empresa en Artigas. Fuente : Documento del Plan de Refuerzo de la Competitividad (PRC) del conglomerado de las piedras preciosas de Artigas.

9.3 Exportaciones

Estas “piedras” son el producto mineral más conocido del Uruguay y ha sido exportado a más de 40 países diferentes. Además las gemas uruguayas, particularmente las amatistas de primera clase son consideradas especies minerales únicas en el mundo

Si bien las ventas al exterior han sido a un gran número de países, por el volumen físico y monetario se destacan claramente 4 regiones : Europa, con Alemania como principal comprador, EEUU , Brasil y Asia, principalmente China y en menor medida Taiwan y el SE Asiático en general. Ver Figura 9.3-1 / Anexo 9.

El material es comercializado principalmente en bruto o con un pequeño grado de elaboración. Del total del volumen físico exportado cerca del 97 % es en bruto (este porcentaje cae a 70 % cuando se toma el valor en U\$S¹ de las ventas).

Cuando se compara las ágatas y amatistas por separado, se observa que la amatista en bruto representa más del 90 % del volumen físico exportado (o algo menos del 70 % de las ventas en U\$S), mientras que las ágatas en bruto representan más del 97 % del total de las ventas al exterior (o casi el 75 % de las ventas en dólares).

En general el mercado Europeo y de EE.UU son los principales compradores de material procesado o con algún grado de procesamiento, principalmente amatistas. Asia, representada principalmente por China y en menor medida por los países del SE Asiático, son compradores principalmente de material en bruto, en especial ágatas y Brasil es un importante comprador de amatistas en bruto. Ver Figura 9.3-2 / Anexo 9.

Cuando se compara la producción de mina con las exportaciones de ágatas y amatistas se observa que :

La producción de amatista sigue muy de cerca, año a año, a los valores exportados, lo que indica que gran parte de lo extraído es comercializado y casi todo (sino todo) lo es al exterior. Cuando se grafica los valores de producción declarados, menos los valores exportados, se observa que hasta aproximadamente el año 2000 hay un excedente de producción y a partir de este año se exporta más de lo que se produce, coincidiendo con el récord

¹ Los dólares serán siempre U\$S FOB salvo que se especifique lo contrario.

de ventas al exterior en el período analizado, lo que se explicaría por las ventas de material en stock. Esta tendencia se corta en el último año, coincidiendo con un importante descenso de las exportaciones. Ver Figuras 9.3-3 / Anexo 9

Para el ágata la situación es más o menos similar a la presentada para la amatista, es decir, la mayor parte de lo que produce tiene destino la exportación y hasta fines de la década del '90 hay, para la mayoría de los años, un excedente de producción. Coincidiendo con el "boom" de exportaciones de los años 2000, se produce un importante déficit de lo producido con respecto a lo vendido, a excepción del año 2004 que ocurre lo inverso. Ver Figuras 9.3-4 / Anexo 9

9.3.1 AGATAS EN BRUTO

En el período considerado 1977 al 2006 se han exportado a 21 países diferentes, por lo menos en uno de los años del período.

En la primera mitad de este período la exportación en general se ubicó en el entorno de 2000 kg /año /país, con valores que oscilaron entre de 5 a 15 mil dólares anuales.

Para algunos destinos (en especial China , Brasil, Taiwán y Hong Kong), a partir de la década del '90 el volumen físico de exportación se incrementó, superando en varios años los 100.000 kg y U\$S 100 mil por país. Se destaca el enorme aumento de las exportaciones de los últimos años, impulsadas especialmente por el mercado Chino, con ventas que se multiplicaron hasta por 120 respecto al promedio histórico anual, con valores que superaron la barrera de 10 millones de kg y los U\$S 2,0 millones en los tres últimos años considerados . Ver Tabla 9.3-1 y 2 y Figuras 9.3-5 y 6 / Anexo-9

EXPORTACIÓN DE ÁGATAS EN BRUTO ACUMULADAS EN EL PERÍODO 1977-2006					
PAIS	Volumen (kg)	% del Total	PAIS	Volumen (U\$S)	% del Total
CHINA	45.769.186	90,24	CHINA	10.373.723	82,75
BRASIL	1.952.350	3,85	HONG KONG	694.806	5,54
HONG KONG	1.454.830	2,87	TAIWAN	612.872	4,89
TAIWAN	971.036	1,91	BRASIL	301.635	2,41
S. AFRICA	213.353	0,42	ALEMANIA	150.129	1,20
ALEMANIA	163.141	0,32	S. AFRICA	142.738	1,14
JAPON	69.611	0,14	JAPON	57.674	0,46
USA	51.463	0,10	USA	55.006	0,44
COREA S.	23.045	0,05	ITALIA	36.304	0,29
ITALIA	17.338	0,03	R. UNIDO	26.341	0,21
OTROS	14.263	0,03	P. BAJOS	25.223	0,20
R. UNIDO	7.185	0,01	COREA S.	21.900	0,17
CANADA	4.000	0,01	AUSTRALIA	15.540	0,12
P. BAJOS	3.802	0,01	OTROS	8.206	0,07
ISRAEL	1.380	0,00	SUIZA	6.348	0,05
AUSTRALIA	951	0,00	ISRAEL	3.380	0,03
SUIZA	682	0,00	CANADA	2.400	0,02
ESPAÑA	300	0,00	ESPAÑA	1.800	0,01
TOTAL	50.717.916	100,00	TOTAL	12.536.024	100,00

Tabla 9.3-1 : Principales destinos de las ágatas en bruto.

EXPORTACIONES A CHINA DE AGATA EN BRUTO						
	Promedio 1978-2001	2002	2003	2004	2005	2006
Kg	143.067	1.347.925	6.491.640	10.799.095	11.190.380	17.382.305
U\$S	94.644	244.392	1.431.490	2.215.122	2.186.237	4.177.116

Tabla 9.3-2 : Evolución de las ventas al Mercado Chino.

9.3.2 AGATAS TRABAJADAS

En el período considerado se han exportado a 33 países diferentes, por lo menos en uno de los años del período.

La exportación de ágata trabajada, en este período, es muy irregular, pero en general hasta principios de los ´90 no superaron los 2500-3000 kg /año /país, lo que equivale a menos de U\$S 10-15 mil anuales por país. De la década del ´90 en adelante las exportaciones en general decrecen, tanto en volumen exportado como en cantidad de países compradores. Los

principales destinos de este tipo de producto son Brasil, China y Europa, en especial Alemania.

Ver Tabla 9.3-3 y Figuras 9.3 - 7 y 8 / Anexo 9

EXPORTACIÓN DE ÁGATAS TRABAJADAS ACUMULADAS EN EL PERÍODO 1977-2005					
PAIS	Volumen (kg)	% del Total	PAIS	Volumen (U\$S)	% del Total
BRASIL*	437.917	60,34	ALEMANIA	1.035.822	34,83
ALEMANIA	53.925	7,43	BRASIL	506.795	17,04
CHINA	52.328	7,21	FRANCIA	289.838	9,75
JAPON	31.142	4,29	USA	260.342	8,75
FRANCIA	26.192	3,61	JAPÓN	154.098	5,18
USA	22.210	3,06	ESPAÑA	151.499	5,09
S. AFRICA	21.447	2,95	OTROS	134.942	4,54
ESPAÑA	16.445	2,27	SUIZA	96.910	3,26
AUSTRALIA	13.372	1,84	R. UNIDO	81.136	2,73
ITALIA	10.442	1,44	ITALIA	74.451	2,50
OTROS	7.102	0,98	CANADA	35.771	1,20
ISRAEL	6.817	0,94	ISRAEL	35.275	1,19
SUIZA	6.302	0,87	P. BAJOS	32.248	1,08
P. BAJOS	5.389	0,74	AUSTRALIA	27.501	0,92
R. UNIDO	5.339	0,74	CHINA	25.926	0,87
TAIWAN	5.026	0,69	S. AFRICA	16.682	0,56
CANADA	3.396	0,47	TAIWÁN	13.196	0,44
INDIA	1.000	0,14	INDIA	1.400	0,05
TOTAL	725.791	100,00	TOTAL	2.973.831	100,00

* La mayor parte del material exportado como "ágata trabajada" a este país, presenta un bajo valor unitario por lo que posiblemente se trate en realidad de recortes de ágata o material semiprocesado.

Tabla 9.3-3 : Principales destinos de las ágatas trabajadas.

9.3.3 AMATISTAS EN BRUTO

En el período considerado se han exportado a 32 países diferentes, por lo menos en uno de los años del período

El promedio anual de ventas, para gran parte del período analizado, no supera los U\$S 200 mil o 25 mil kilogramos, salvo en 2 “tramos” :

- Uno a fines de los '80 y primeros años de los '90, con ventas que superan en algunos años los U\$S 400 mil y volúmenes mayores a los 50 mil kilos, con destino principal a EEUU y Europa.

-El otro tramo, con un aumento de las exportaciones mucho mayor, es del 2002 hasta el 2006, donde las exportaciones totales superan frecuentemente los U\$S 500 mil y los 300 mil kg. con un pico de ventas en el 2005, donde se supera la barrera del millón de dólares y que tiene como principal comprador a Brasil.

El material exportado como amatista en bruto es principalmente “lajas” y geodas y marginalmente picos “rústicos”.

En general las ventas por país no superan los 5-10 toneladas año, lo que equivale groseramente a U\$S 5-10 mil anuales , salvo para Alemania, Brasil, China y EEUU con varios años con ventas mayores a los U\$S 50 mil o volúmenes físicos superiores a las 20 Toneladas.

Son curiosas las ventas al mercado Brasileño, con compras entre 100 y 550 mil kilos en lo que va de la década del 2000, siendo este País uno de los mayores productores mundiales de estas gemas. Posiblemente se relacione con el hecho de que se consiga mejores precios en Brasil (?) (Lajeado-Soledad es un centro mundial de venta/exposición de amatistas) y/o que al mezclar las amatistas de buena calidad uruguayas, con los lotes de amatistas brasileras se “jerarquizan” los mismos y se consiguen mejores precios (?). Ver Tabla 9.3-4 y Figuras 9.3-9, 10 y 11 / Anexo 9.

EXPORTACIÓN DE AMATISTA EN BRUTO ACUMULADA EN EL PERÍODO 1977-2005					
PAIS	Volumen (kg)	% del Total	PAIS	Volumen (U\$S)	% del Total
BRASIL	1.646.221	56,70	BRASIL	2.858.071	31,43
USA	400.297	13,79	USA	2.212.111	24,33
ALEMANIA	236.105	8,13	ALEMANIA	1.417.910	15,59
CHINA	208.217	7,17	TAIWAN	437.182	4,81
TAIWAN	110.704	3,81	ESPAÑA	296.818	3,26
ESPAÑA	49.839	1,72	ITALIA	233.947	2,57
R. UNIDO	38.338	1,32	R. UNIDO	196.190	2,16
AUSTRALIA	37.480	1,29	SUIZA	182.404	2,01
ITALIA	33.168	1,14	AUSTRALIA	180.398	1,98
OTROS	24.071	0,83	JAPON	174.382	1,92
SUIZA	23.373	0,81	P. BAJOS	163.988	1,80
COREA S.	21.179	0,73	CHINA	146.758	1,61
P. BAJOS	17.505	0,60	TAILANDIA	141.734	1,56
JAPON	16.524	0,57	OTROS	134.865	1,48
INDIA	12.456	0,43	FRANCIA	81.314	0,89
FRANCIA	11.646	0,40	COREA S.	73.110	0,80
AUSTRIA	8.889	0,31	AUSTRIA	49.391	0,54
CANADA	3.285	0,11	CANADA	37.927	0,42
S. AFRICA	2.352	0,08	INDIA	36.129	0,40
ISRAEL	972	0,03	S. AFRICA	26.123	0,29
TAILANDIA	708	0,02	ISRAEL	11.625	0,13
TOTAL	2.903.329	100,00	TOTAL	9.093.478	100,00

Tabla 9.3-4 : Principales destinos de la amatista en bruto.

9.3.4 AMATISTAS TRABAJADAS

En el período considerado se han exportado a 28 países diferentes por lo menos en uno de los años del período

En general las ventas por país no superan los 500-1000 kilos año, lo que equivale a menos de U\$S 15-10 mil anuales. Entre 1989 y 1990 las ventas anuales, para algunos países, superan los 100 e incluso los U\$S 200 mil (o los 5 a 10 mil kg). Se debe aclarar que posiblemente en la mayoría de las ventas, se trate de material semiprocesado y muy marginalmente gemas facetadas.

Los principales mercados son EEUU y Europa ,en particular Alemania, con un máximo de ventas en el período ya señalado (1989-1990). Ver Tabla 9.3-5 y Figuras 9.3 - 9 y 10 / Anexo 9.

EXPORTACIÓN DE AMATISTA TRABAJADA ACUMULADA EN EL PERÍODO 1977-2005					
PAIS	Volumen (kg)	% del Total	PAIS	Volumen (U\$S)	% del Total
USA	87.479	40,27	USA	1.342.749	35,77
ALEMANIA	40.748	18,76	ALEMANIA	1.144.703	30,50
R. UNIDO	18.216	8,39	SUIZA	343.278	9,15
SUIZA	14.848	6,84	ESPAÑA	145.520	3,88
JAPON	9.955	4,58	JAPON	138.512	3,69
FRANCIA	9.945	4,58	ITALIA	113.640	3,03
ESPAÑA	9.941	4,58	P. BAJOS	105.155	2,80
AUSTRALIA	6.347	2,92	FRANCIA	97.559	2,60
INDIA	4.848	2,23	R. UNIDO	96.222	2,56
BRASIL	2.518	1,16	BRASIL	40.762	1,09
CHINA	2.314	1,07	AUSTRALIA	39.421	1,05
OTROS	2.246	1,03	OTROS	37.450	1,00
CANADA	1.948	0,90	CANADA	29.717	0,79
P. BAJOS	1.791	0,82	ISRAEL	26.885	0,72
ITALIA	1.522	0,70	CHINA	22.985	0,61
AUSTRIA	1.112	0,51	AUSTRIA	13.149	0,35
ISRAEL	1.023	0,47	TAIWAN	6.700	0,18
S. AFRICA	229	0,11	INDIA	5.242	0,14
TAIWAN	186	0,09	S. AFRICA	3.950	0,11
TOTAL	217.215	100,00	TOTAL	3.753.599	100,00

Tabla 9.3-5 : Principales destinos de las amatistas "trabajadas".

ANEXO 9

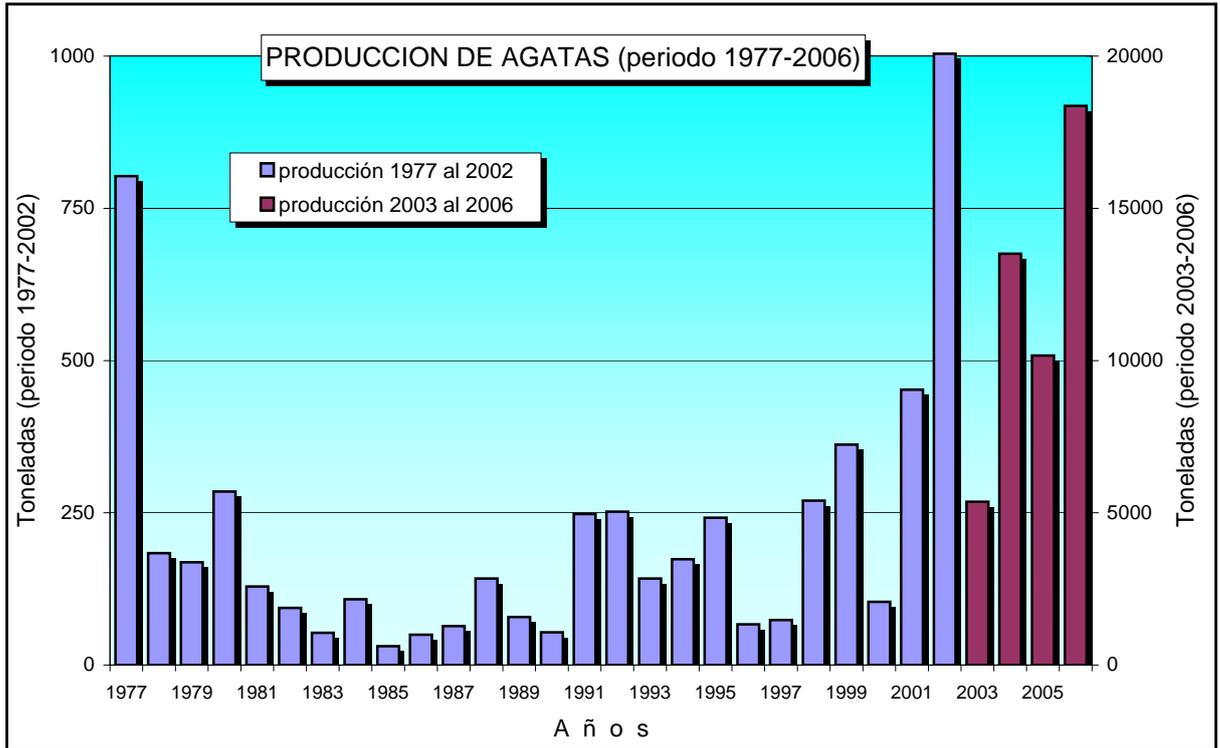


Figura 9.1-1 : Evolución histórica de la producción de ágata en el período 1977-2006

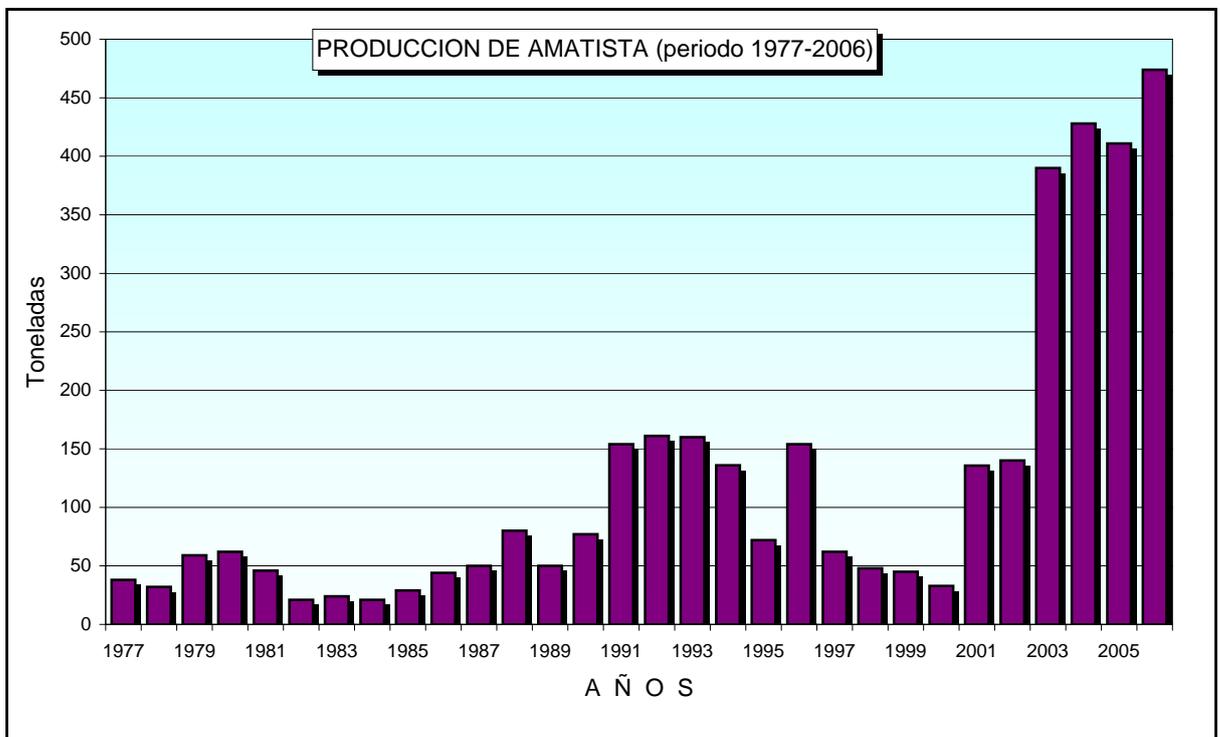


Figura 9.1-2 : Evolución histórica de la producción de amatistas en el período 1977-2006



Figura 9.2-1 : Productos de amatista, geodas cortadas y pulidas, así como algunas piezas con cierto procesamiento (recuadro).



Figura 9.2-2 : Algunas de las decenas de manufacturas realizadas con ágata. (Tomado de Mundostone.com)

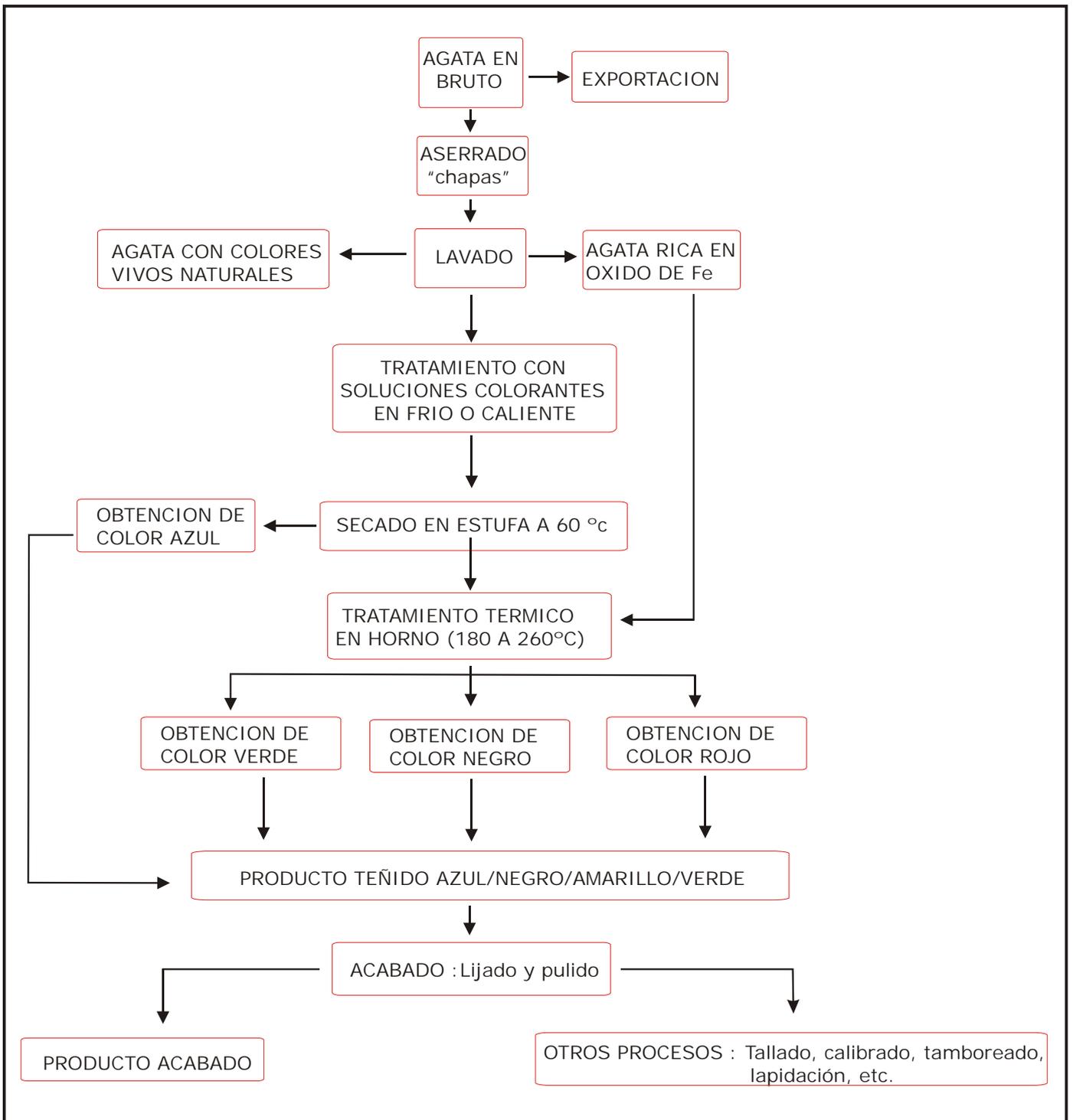


Figura 9.2-3 : Flujo diagrama de teñido de ágatas (Fuente Bosi Tubino L. -1999)

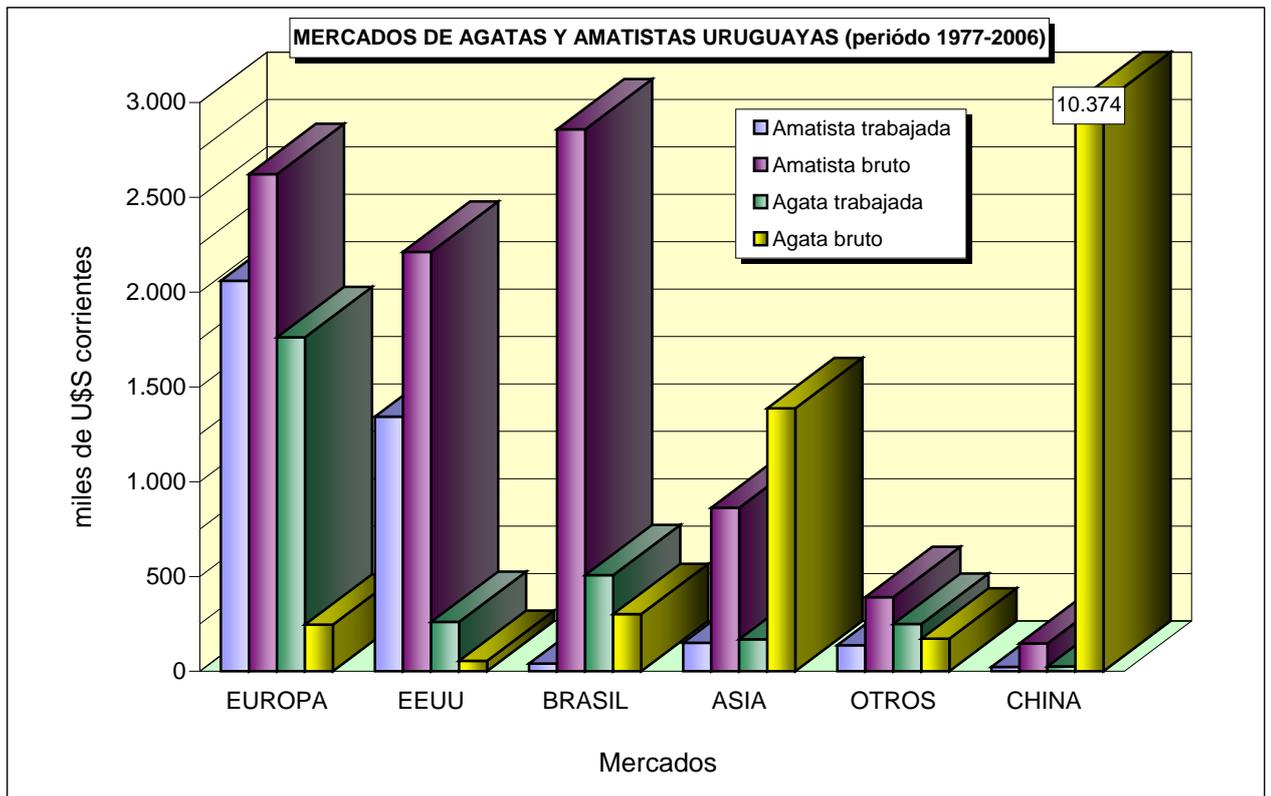


Figura 9.3-1 : Exportación en U\$S de Agatas y Amatistas discriminadas por mercado y grado de elaboración (ágata en bruto para China esta fuera de escala).

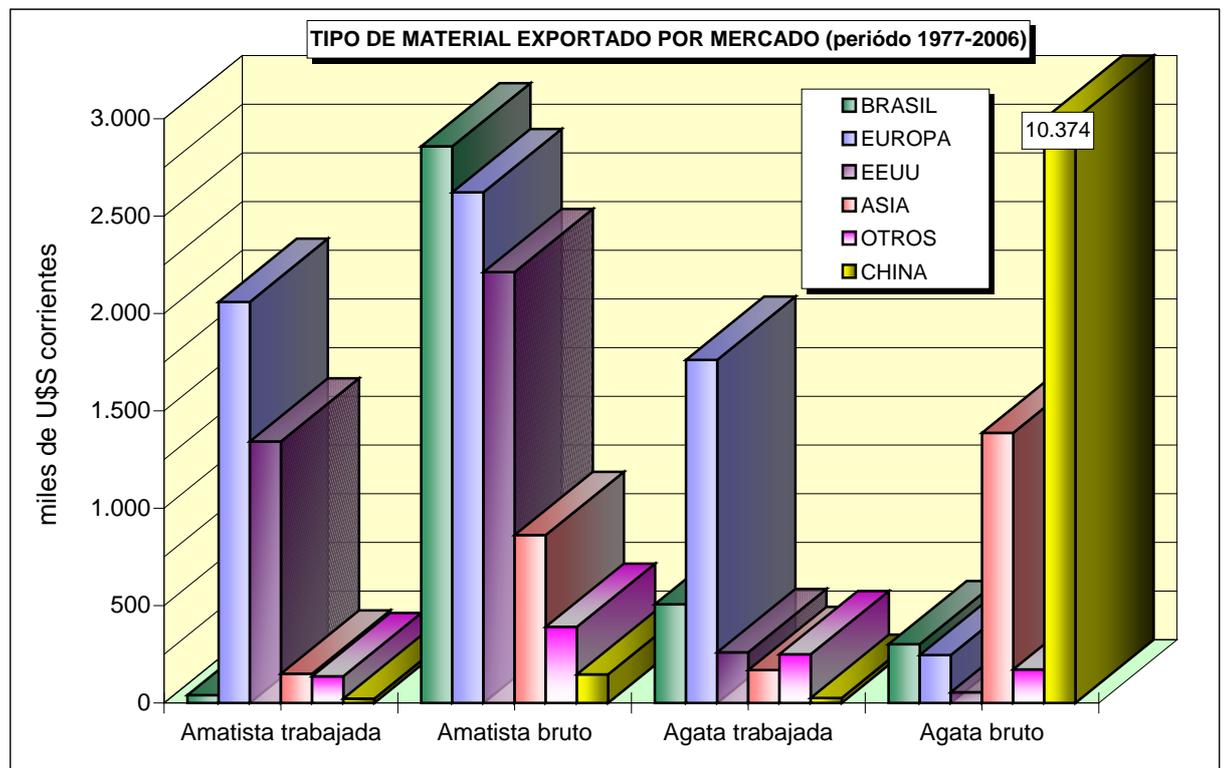


Figura 9.3-2 : Exportación en U\$S de Ágatas y Amatistas trabajadas y en bruto discriminada por mercados (ágata en bruto para China esta fuera de escala).

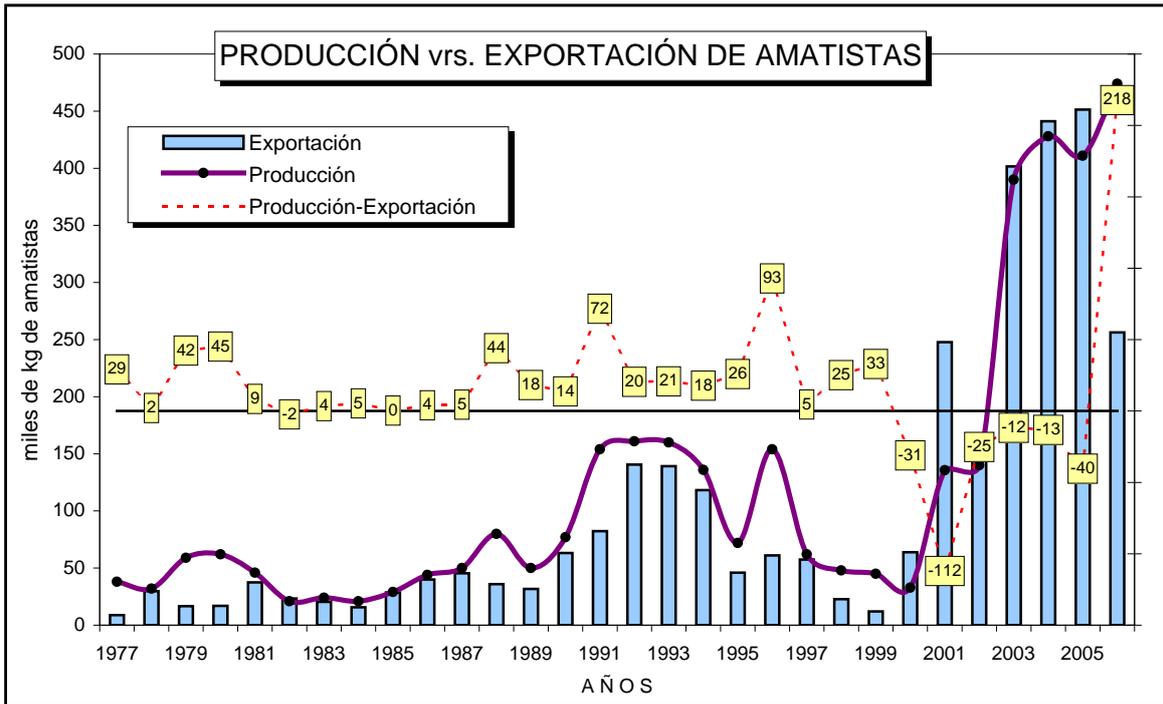


Figura 9.3-3 : Producción vs. Exportación de amatistas. Los números dentro del recuadro indican la diferencia en miles kg entre la producción y la exportación anual

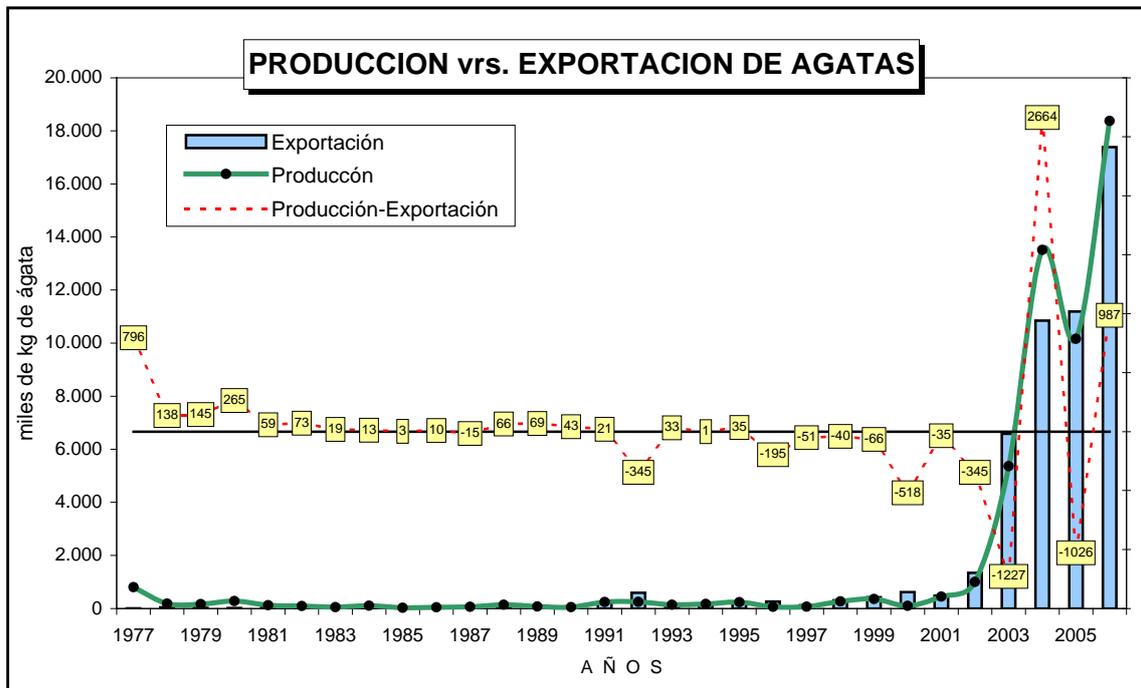


Figura 9.3-4 : Producción vs. Exportación de ágata. Los números dentro del recuadro indican la diferencia en miles kg entre la producción y la exportación anual

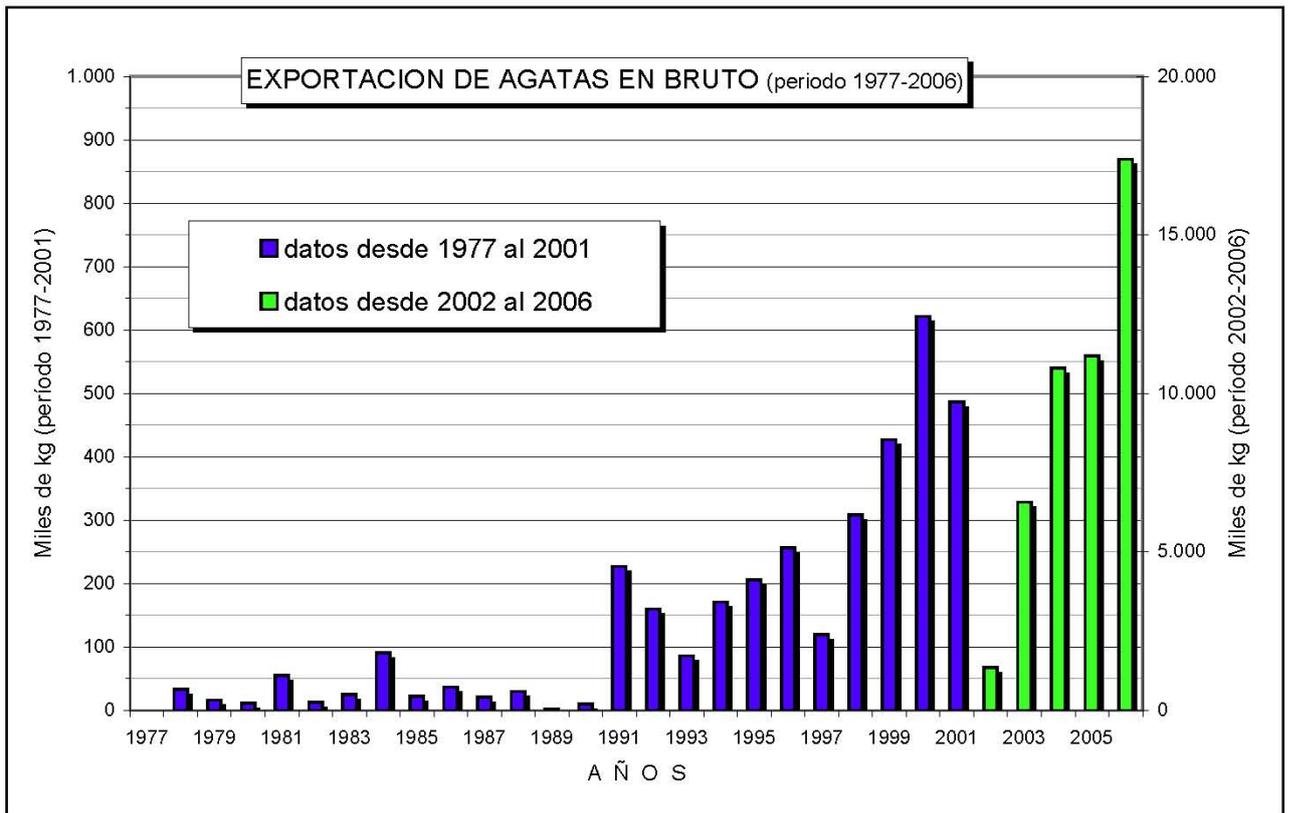


Figura 9.3-5 : Cantidad de kg. exportados de Agatas en bruto durante el período 1977 al 2006

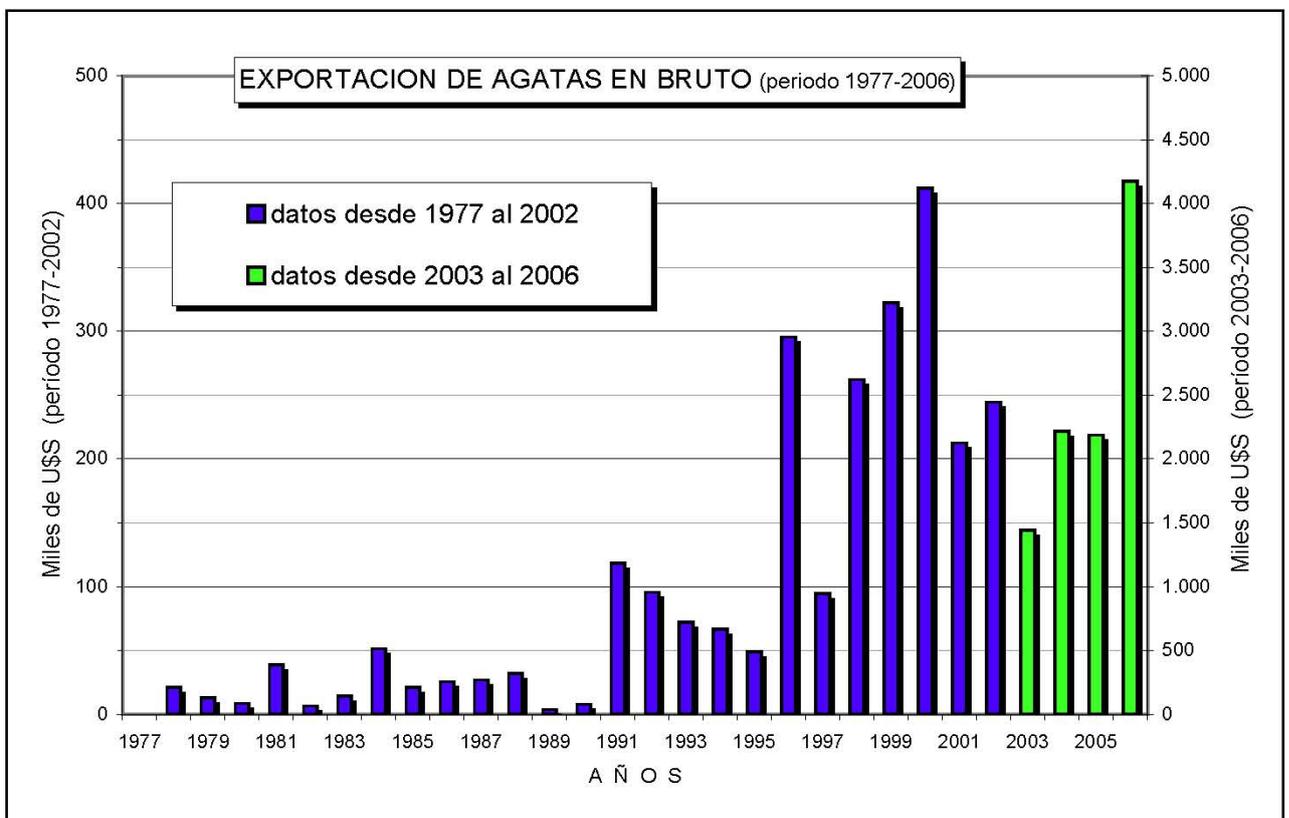


Figura 9.3-6 : Volúmenes exportados en U\$S de Agatas en bruto durante el período 1977 al 2006.

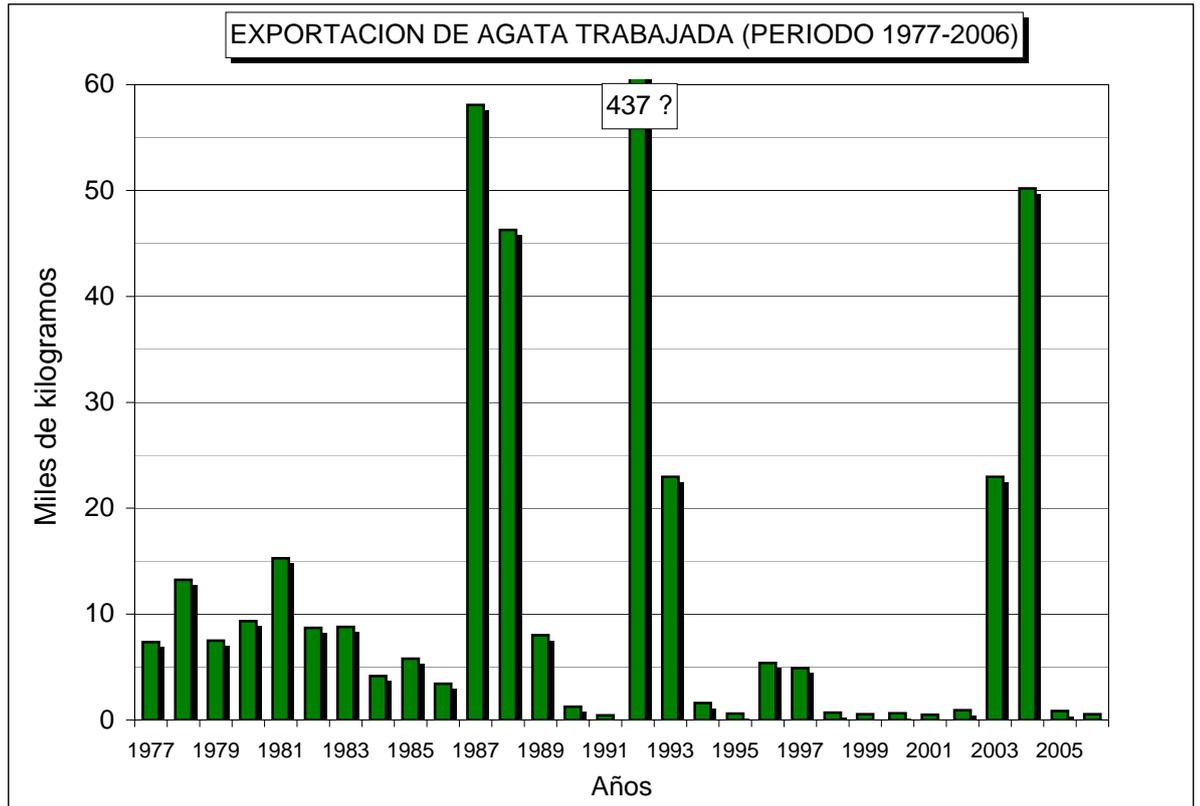


Figura 9.3-7 : Cantidad de kg. exportados de ágatas trabajadas durante el período 1977 al 2006.

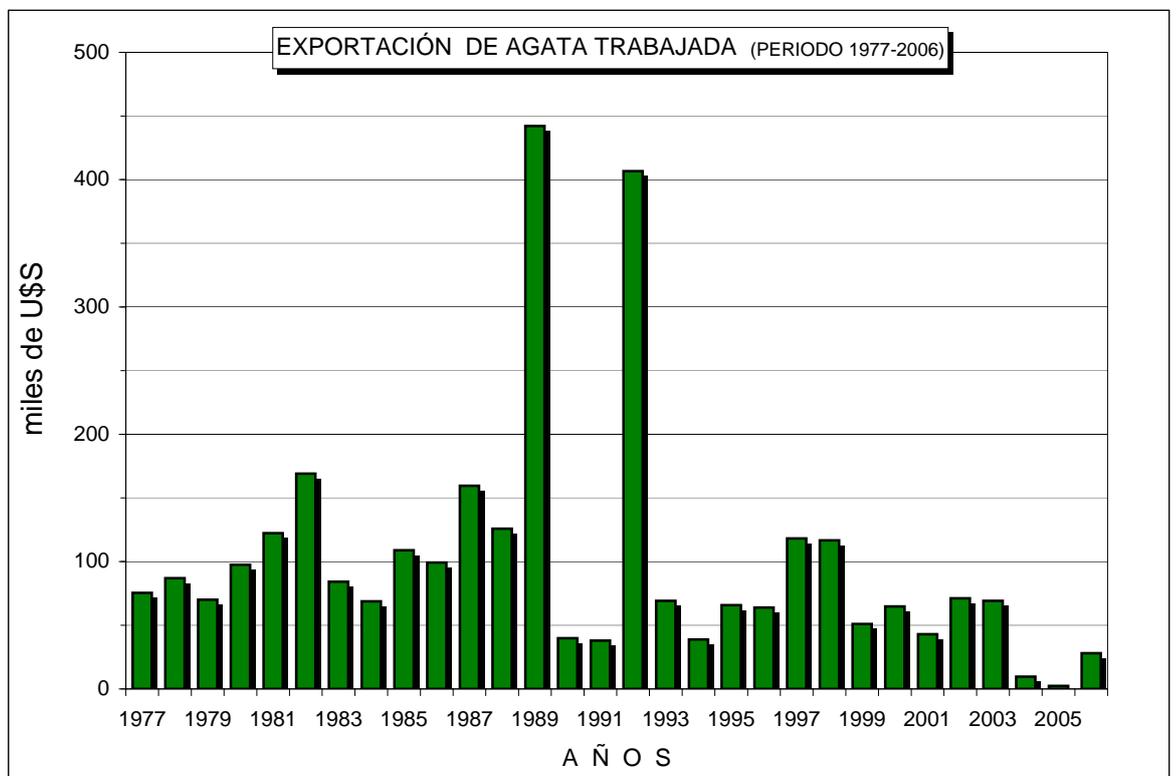


Figura 9.3-8 : Volúmenes exportados en U\$S de ágatas trabajadas durante el período 1977 al 2006.

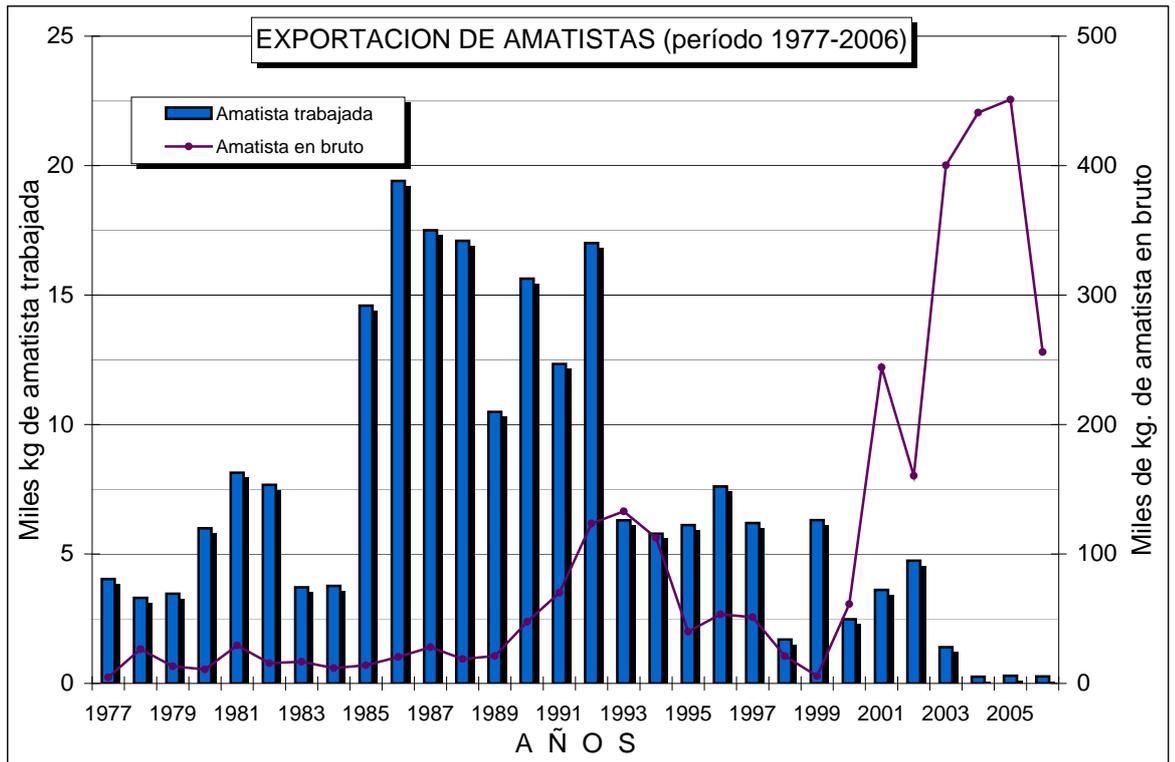


Figura 9.3-9 : Cantidad de kg. exportados de Amatistas durante el período 1977 al 2006

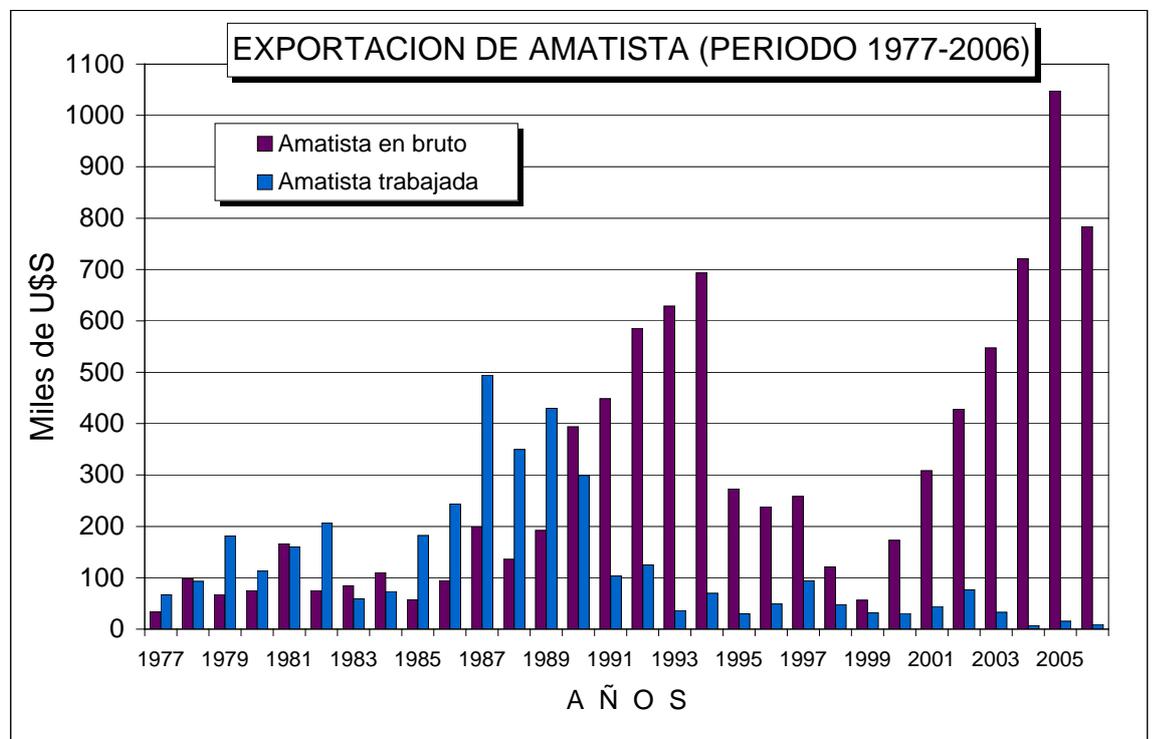


Figura 9.3-10 : Volúmenes exportados en U\$S de Amatistas durante el período 1977 a 2006

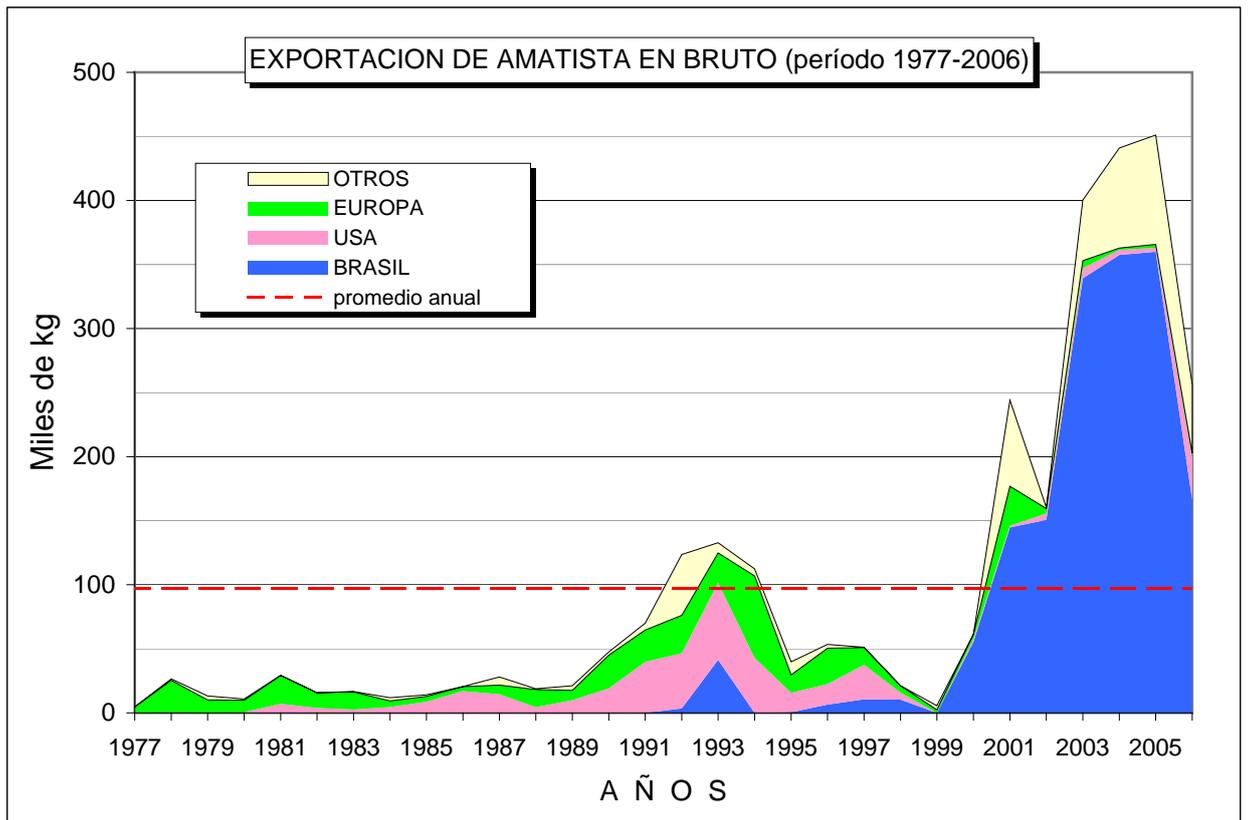


Figura 9.3-11 : Cantidad de kg. exportados de amatista durante el período 1977 al 2006 discriminadas por región / país

10. CONSIDERACIONES FINALES

En líneas generales, los objetivos que se fijaron al principio de la Fase I del Proyecto han sido alcanzados, los cuales se sintetizan en 3 productos : Carta Geológica, de Labores Mineras y Minero-Prospectiva, complementados con una extensa Memoria Explicativa.

La realización de la carta geológica del DGLC es un documento científico inédito, sobre una de las zonas mineras más importante del Uruguay. En base a los datos y conocimiento geológicos adquiridos, fue posible entender y definir las relaciones entre los derrames basálticos aflorantes. Así como la caracterización de la estructura intraderrame, en especial la parte superior de las coladas portadoras, en donde se desarrollan los niveles mineralizados objeto de explotación.

A través de un sistemático y metódico relevamiento, se elaboró el primer documento gráfico de labores del conjunto de la región minera. Esta carta permite múltiples usos desde tareas de control y gestión minera a tareas de ordenamiento territorial.

El procesamiento y análisis espacial, de toda la información geológica y minera generada durante esta Fase del Proyecto, permitió definir en forma bastante precisa las zonas más favorables para la exploración. A su vez la extrapolación, del conocimiento y experiencia adquirida, a otras zonas basálticas potenciales fuera del DGLC, permitirá una mayor certeza en la prospección de nuevos depósitos de ágatas y amatistas.

Uno de los objetivos centrales, de esta primera Fase, era definir en forma preliminar un posible modelo descriptivo-prospectivo de los yacimientos (tarea sustantiva de las Fases siguientes del Proyecto).

En función de los estudios realizados, está claro que los tres parámetros básicos de este tipo de yacimiento, geometría del nivel portador, distribución espacial de la mineralización dentro de este nivel y calidad de la mineralización son muy mal conocidos. Esto se traduce en que la extracción se ejecute en muchos casos por una metodología que podemos denominar de "prueba y error". En cierta forma puede ser visto como una exploración continua sobre el cuerpo mineralizado, para definir hacia donde dirigir la actividad extractiva. Esto implica un mayor costo y alto riesgo, ya que no existe ninguna información previa de como se desarrolla o podría

desarrollarse el yacimiento. Por otra parte, posiblemente en un futuro no muy lejano, la extracción solo se realice sobre roca dura y en gran parte subterránea por agotamiento de los yacimientos en roca blanda. Por lo que los costos y especialmente los riegos sean aún mayores.

Esto se observa hoy en día en las labores subterráneas, donde a través de un avance aleatorio los mineros buscan las zonas donde se concentran las geodas “manchas”, con gran incertidumbre sobre la continuidad y dirección de la mineralización. El desconocimiento de la geometría del yacimiento también puede traer aparejado una explotación poco racional. Esto se constató claramente en algunos sectores abandonados de labores mineras que hoy han sido reactivados. Es así que la re-explotación de escombreras para la extracción de ágata masa (antiguamente desechada) a dejado al descubierto, en algunos sectores de dichas labores, la continuidad en profundidad del nivel geódico.

La única forma de revertir esta situación es la ejecución de estudios en detalle de los yacimientos, continuos en el tiempo y acompañando a la actividad extractiva de las empresas en la medida que avanzan en el yacimiento. Esta es una tarea de mediano plazo y que pensamos llevar a cabo en las Fases siguientes del proyecto.

En esta primera Fase y en función de las limitaciones de la información recogida, tanto en cantidad como en calidad, solo se puede adelantar a manera de hipótesis de trabajo las siguientes apreciaciones :

- Si bien a nivel regional los yacimientos de amatistas pueden ser vistos como cuerpos tabulares, de espesor relativamente constante, a escala del yacimiento esta apreciación es incorrecta.
- El espesor de estos cuerpos mineralizados es variable a muy variable, pudiendo desaparecer (tomando como referencia el piso de la labor minera) en cortos tramos, tanto lateralmente como en profundidad.
- Estas variaciones en la geometría están asociadas, al menos en parte, con el descenso relativo del nivel superior estéril con un paralelo adelgazamiento o hasta desaparición del nivel mineralizado.
- También se produce la disminución y/o desaparición de la mineralización dentro del nivel portador, que mantiene la misma geometría, producto quizás de la distribución no homogénea de las geodas dentro de este nivel.

- La combinación de estos dos factores, geometría irregular y distribución no uniforme de la mineralización haría pensar en yacimientos complejos, que requieren estudios más profundos para poder obtener un modelo descriptivo-exploratorio medianamente aceptable.
- Por ultimo, pero no menos importante, parecería que la calidad de la mineralización según los propios mineros y observaciones propias es un parámetro muy variable. Solo se podrá obtener valores realistas, de cantidad y tipo de material por unidad de volumen, a través de estudios geoestadísticos de mediano plazo, que acompañen la extracción.

Además queremos destacar que conjuntamente a los capítulos directamente vinculados con los objetivos principales de esta fase (Geología, Yacimentología y Actividad extractiva en el DGLC) se incluyó dentro de la Memoria, abundante y minuciosa información relacionada con las piedras preciosas. Es así que, en base a una recopilación exhaustiva de la información disponible de este recurso mineral, se presenta en el documento los siguientes aspectos : contexto regional geológico y minero de los yacimientos tipo geodas en basalto (capítulo 3 y 4), caracterización desde varios puntos de vista de las ágatas y amatistas (capítulo 5) y tipo de productos comercializados, precios y destinos (capítulo 9).

11. BIBLIOGRAFIA

Aubele J.C., Crumpler L.S. and Elston W. E. (1988) : Vesicle zonation and vertical structure of basalt flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (35) 349–74.

Amorim V., R. Acauan, A. Strieder, P. Juchem, L. Hartmann (2005) : Controle geológico-estrutural dos depósitos de ametista no Distrito Mineiro de Ametista do Sul (RS). Seminário do Geologia e Mineração em áreas de garimpo de pedras preciosas no estado do Rio Grande do Sul. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul

Amorim V., A. Strieder, P. Juchem (2005) : Pulsos de mineralização nos geodos e mapeamento da qualidade de gemas no Distrito Mineiro de Ametista do Sul (RS). Seminário do Geologia e Mineração em áreas de garimpo de pedras preciosas no estado do Rio Grande do Sul. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul

Andrew D. Saunders (2005) : Large Igneous Provinces: Origin and Environmental Consequences, December 2005, *Elements - Magazine*, Vol. 1, pp. 259–263, December 2005 (tomado de www.elementsmagazine.org)

Balitsky V.S., Machina I.B., Marín A.A., Shigley J.E., Rossman G.R., Lu T.(2000) : Industrial growth, morphology and some properties of Bi-colored amethyst-citrine quartz (ametrine). *Journal of Crystal Growth* 212, 255-260 pp. Elsevier.

Bosi L. (1999) : Industrial treatment of raw agate: cutting, chemical-thermal treatment, polishing for obtation of coloured agate plate. ENPROMER'99

II Congresso de Engenharia de Processos do MERCOSUL, Florianópolis - Santa Catarina – Brasil

Bossi J. , Heide E. y de Oliveira T. (1969) : Carta geológica del Uruguay a escala 1: 100.000. Segmento Salto, Sectores XIX y XX. Departamento de publicaciones, Universidad de la Republica

Bossi J. y Heide E. (1970) : Carta geológica del Uruguay a escala 1: 100.000. Segmento Arapey, Sector XVIII. Departamento de publicaciones, Universidad de la Republica.

Bossi J. , Ledesma J. y Carballo E. (1973) : Síntesis general de los trabajos geológicos realizados en el área basáltica. Versión mimeografiada. Facultad de Agronomía, Cátedra de Geología. Universidad de la Republica

Bossi, J.; Caggiano, W. (1974) : Contribución a la geología de los yacimientos de amatista del Departamento de Artigas (Uruguay). In: Congreso Brasileiro de Geología, 28., Porto Alegre, SBG, v.3, p. 301-318.

Bossi J. (1978) : Recursos minerales del Uruguay. Ediciones Daniel Aljanati. Montevideo, Uruguay.

Bossi J., Navarro R. (1988) : Magmatismo Mesozoico, 698-757 pp. : en Tomo II de Geología del Uruguay. Departamento de publicaciones de la Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay.

Bossi J. y Schipilov A. (1998) : Rocas ígneas básicas del Uruguay, vol I, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, 245 pp. Montevideo.

Bossi J., Navarro R., Schipilov A. (2000) : Rocas ígneas básicas del Uruguay, Volumen III : Recursos Minerales - Agatas y Amatistas. pp 21-32.

Bossi J. y Ferrando L. (2001) : Carta Geológica del Uruguay escala 1:500.000. Versión Cd, Geo-Editores SRL, Montevideo.

Branco P., Alcântara Gil C.(2002) : Mapa Gemológico Do Estado Do Rio Grande Do Sul, 2ª edição. CPRM, Porto Alegre. 55 pp. + mapa.

Cashman K., Mangan M., Newman S. (1994) Surface degassing and modifications to vesicle size distributions in active basalt flows. Journal of Volcanology and Geothermal Research 61, 45–68.

Cashman K. and Kauahikaua J. (1997) Reevaluation of vesicle distributions in basaltic lava flows. Geology 25, 419–22.

Cohen A. (1985) : Amethyst color quartz, the result of radiation protection involving iron. American Mineralogist, V. 70, pp. 1180-1185

Correa, T.E., (1995) : Geologia e critérios de prospecção para depósitos de ametistas na região do Alto Uruguai, RS. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, UFRGS, 140p.

de Aquino J. (1980) : Produção, Industrialização e Comércio de Gemas no Nordeste. Série : Estudos, Econômicos e Sociais, V. 10. Fortaleza, Brasil.

De Santa Ana H., Ucha N. (1994) : Exploration, perspectives and hydrocarbon potencia of the uruguayan sedimentary basins. ANCAP

De Santa Ana H. y Veroslavsky G. (2004) :La tectonosecuencia volcanosedimentaria de la cuenca Norte de Uruguay, pp 53-76 : en Veroslavsky G., Ubilla M. y Martínez S. Editores, Cuencas Sedimentarias de Uruguay-Mesozoico. 2^{da} Edición, DIRAC-SUG, Montevideo, Uruguay.

Duarte L., Hartmann L., Marcos A. (2005) : Epigenetic geode formation in the world-class amethyst deposits of the southern Paraná Basaltic Province. Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado (RS). Em CD, pp 6

Disperati L., Carmignani L., Medina E., Da Silva J., Pirelli H. Y Gomez rifas C. (2001) : Geological map the catalan agate-amethyst minig district (Artigas department, Republica Oriental del Uruguay). XI Congreso Latinoamericano de Geología , III Congreso Uruguayo de Geología.

Fernández A. y Ledesma J. (1974) : Criterios petrográficos de correlación en secuencias de coladas basálticas, In: Congreso Brasileiro de Geología, 28., Porto Alegre, SBG.

Fischer, A.C. (2004) : Petrografia e Geoquímica das Fases Silicosas dos Geodos Mineralizados a Ametista (Região do Alto Uruguai, RS, Brasil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Curso de Pós-Graduação em Geociências e Universite Toulouse III-Tese de Doutorado. 159p.

Frondel C. (1985) : Systematic compositional zoning in the quartz fibers of agates. American Mineralogist, Volume 70, pages 975-979, 1985

García Guinea J. (2006) : Amatista de Artigas – Denominación de origen : Natural, (¿Artificial?). Conferencia en DINAMIGE.

Gilg, H.A.; Morteani, G.; Kostitsyn, Y.; Preinfalk, C.; Gatter, I.; Strieder, A.J. (2003) : Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral Formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil) : a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. Mineralium Deposita, 38: 1009-1025.

Gomes M., Mexias A., Scopel R., Bongioiolo, E., Formoso, M. and Milara, T (2005) : Volcanic sequence of the amethyst district in South Paraná Province, Rio Grande do Sul, Brazil: Flow emplacement mechanisms and geodes formation. In Simpósio Brasileiro de Metalogenia, 2005, Gramado. CD-ROM. Porto Alegre. Sociedade Brasileira de Geologia.

Götze J., M. Tichomirowa , H. Fuchs , J. Pilot , Z. Sharp (2001) : Geochemistry of agates: a trace element and stable isotope study. Chemical Geology 175 , pp 523-541

Heemann R. (2005) : Modelagem estrutural e tridimensional para a prospecção e avaliação dos depósitos de ágata do distrito Minerio de Salto do Jacuí (RS). Tese de doutoramento, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais da UFRGS. 163 p

Hurlbut C., Klein C. (1982) : Manual de Mineralogia de Dana, 3ra Edición. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España. 565 pp.

Juchem, P.L. (1999) : Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul. IG/USP, São Paulo, Tese de Doutorado. 225p.

Juchem P., Fischer A., Svisero D. , da Silva O. (2001) : Características químicas dos minerais de sílica de geodos mineralizados a ametista da região do Alto Uruguai, RS, Brasil. Actas XI Congreso Latinoamericano, III Congreso de Geología Uruguayo. Montevideo-Uruguay

Medina E. (1995) : Recuperación ambiental de una mina de ágatas y amatistas. Dpto. de Artigas, Uruguay. Resúmenes expandidos, pp 339-340. 6° Simpósio Sul-Brasileiro de Geología / 1° Encontro de Geología do Cono Sul Porto Alegre, Brasil.

Merino E., Wang Y., Deloule E. (1995) : Genesis of agates in flood basalts : twisting of chalcedony fibers and trace-element geochemistry. American Journal of Science, vol 295, november 1995. P 1156-1176.

Muzio R. (2004) : El magmatismo mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales. : en Veroslavsky G., Ubilla M. y Martínez S., Editores. Cuencas Sedimentarias de Uruguay-Mesozoico. 2^{da} Edición, DIRAC-SUG, Montevideo, Uruguay.

Nassau K. (1978) : The origins of color in minerals. American Mineralogist, V 63, pp 219-229.

Long P., Wood B. (1986) : Structures, textures, and cooling histories of Columbia River basalt flows. Geological Society of America Bulletin, v. 97, pp 1144-1155.

Peate D.W. (1997) : The Paraná-Endeoka province, pp217-245. en : Mahoney JJ y Coffin MF (eds.) : Large igneous provinces : continental, oceanic and planetary flood volcanism. Geophysical Monograph 100.

Plan de Refuerzo de la Competitividad (PRC) de las Piedras Preciosas, Programa de Competitividad de Conglomerados y Cadenas Productivas (URL L-1020), 60 p., OPP-DIPRODE, Presidencia de la Republica Oriental del Uruguay. Marzo 2007. Documento tomado de : www.diprode.opp.gub.uy/pacc/prcpiedras.pdf

Proust D. and Fontaine C. (2007) : Amethyst-bearing lava flows in the Paraná Basin (Rio Grande do Sul, Brazil): cooling, vesiculation and formation of the geodic cavities. Geological Magazine 144 (1), 2007, pp. 53–65. Cambridge University Press

Proust D. and Fontaine C. (2007) : Amethyst geodes in the basaltic flow from Triz quarry at Ametista do Sul (Rio Grande do Sul, Brazil): magmatic source of silica for the amethyst crystallizations Geological Magazine 144 (4), 2007, pp. 731–739. Cambridge University Press

Sahagian D. L. (1985) : Bubble migration and coalescence during the solidification of basaltic lava flows. Journal of Geology (93) 205–11.

Schmitt, J.C.; Camatti, C.; Barcellos, R.C. (1991) : Depósitos de ametista e ágata no estado do Rio Grande do Sul. In: Principais depósitos minerais do Brasil, vol. IV-A/Gemas e Rochas Ornamentais, DNPM, Cap. III, p.271-285.

Schaefer C., Kattenhorn S. (2004) : Characterization and evolution of fractures in low-volume pahoehoe lava flows, eastern Snake River Plain , Idaho. Geological Society of America Bulletin, March/April-2004 , v. 116, no. 3/4.

Scopel M., Gomes B., Formoso L., Proust D. (1998) : Derrames portadores de ametistas na região Frederico Westphalen–Iraí–Planalto–Ametista do Sul, RS-Brasil. Actas del II Congreso Uruguayo de Geología, pp 243-248. SUG-FC, Punta del Este, Uruguay.

Sparks, R. (1978) : The dynamics of bubble formation and growth in magmas: A review and analysis. Journal of Volcanology and Geothermal Research (3):1-37.

Trindade M., Rubo R., Seaki M., Scalvi R. (2006) : Absção óptica de ametistas tratadas termicamente. Revista Brasileira de Aplicações de Vacuo, v. 25, n. 2, pp. 59-63.