



Revisión de las colecciones de rocas riolíticas catalanas del Museu de Geologia y de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona

Natalia DÍAZ*, Domingo GIMENO* y Cristina SEGURA*

ABSTRACT

DÍAZ, N., GIMENO, D. y SEGURA, C. A revision of the collections of catalonian rhyolitic rocks from Museu de Geologia de Barcelona and Faculty of Geology of University of Barcelona

The Museu de Geologia de Barcelona and the Faculty of Geology of the University of Barcelona own twin collections of rhyolitic volcanic rocks from the Catalonian Pyrenees, permo-carboniferous in age. Samples of these collections are currently exposed in the museum and used for didactic purposes at the university (petrography and hand sample studies). This revision corroborates that the collections have a initial common origin in the San Miguel de la Cámara collection (1934). The university' collection consists of lavic rocks from the Grèixer-Coll de Pi sector, rhyolitic in composition, and with textural evidence (perlitic textures, skeletal phenocrysts, thermal shocked quartz, etc.) of magma-water interaction during the *mise-en-place* process. Despite of their age these rocks show fine preservation of the original textural features, but they seem unadequate for didactic purposes in introductory courses of petrography because of several facts (peraluminous character expressed in phenocrysts, presence of specific textures of magma-water interaction, advanced stage of devitrification and silicification, etc.). These samples seem more idoneous for advanced didactic purposes (second cycle or PhD level studies).

The Museu de Geologia contains two groups of samples: the aforementioned lavic rocks, and pyroclastic rocks from several localities of the catalonian Pyrenees. The pyroclastic rocks offer evidence of their character related to explosive volcanism (*shards*, pumice, crystal fragments, etc.) but they are deeply transformed and therefore inadequate for didactic purposes. Most of the thin slides are in fact too thick to allow a correct study of pyroclastic textures. The petrographic features allow us to suspect not only rhyolitic terms but also rhyodacitic and dacitic ones.

The available data (bibliography and this study) shows some inconsistencies in the current interpretation of the lavic silicic rocks. We offer a synthetic tentative explanation that could be tested in future research.

* Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 08071 Barcelona

Key words: volcanic rock, Upper Paleozoic, Catalanian Pyrenees, rhyolite, subaqueous environment, didactics, Museu de Geologia de Barcelona, Universitat de Barcelona, Spain.

RESUMEN

El Museu de Geologia de Barcelona y la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona poseen sendas colecciones "gemelas" de rocas volcánicas riolíticas de edad permo-carbonífera, procedentes del Pirineo catalán. Algunas muestras forman parte de la exposición permanente del museo y muchas de las de la colección universitaria son utilizadas regularmente en la didáctica de petrología ígnea en la universidad (petrografía y muestras de mano). Esta revisión permite confirmar la inicial procedencia común de ambas colecciones en la inicial de San Miguel de la Cámara (1934). La colección universitaria está constituida por rocas lávicas del sector de Gréixer-Coll de Pi, son riolitas, y presentan evidencias texturales claras de emplazamiento en medio subacuático (texturas perlíticas, fenocristales esqueléticos, fenocristales de cuarzo afectados de choque térmico, etc.). A pesar de su edad presentan un excelente estado de conservación de sus texturas, pero algunas de sus características (carácter peraluminico expresado en los fenocristales, texturas excesivamente específicas de interacción agua-magma, avanzado estado de desvitrificación y silicificación, etc.) desaconsejan su empleo didáctico en cursos introductorios de petrología ígnea y sugieren que su desplazamiento hacia cursos más avanzados (segundo ciclo o doctorado) sería más adecuado.

El Museu de Geologia posee dos tipos de muestras: las lávicas antes descritas, y un segundo grupo de tipo piroclástico procedente de diferentes localidades del Pirineo catalán. Las rocas piroclásticas ofrecen evidencias inequívocas de su carácter genético (volcanismo explosivo), tales como presencia de pumitas, *shards*, fragmentos de cristales, etc. Sin embargo, han sufrido transformaciones importantes que las hacen inadecuadas en usos didácticos. Por otra parte, la mayoría de las láminas estudiadas son excesivamente gruesas, lo que impide un correcto estudio de las texturas piroclásticas. Las características petrográficas sugieren que existen términos riocácicos y dacíticos además de los riolíticos.

Finalmente, el conjunto de datos disponibles al final del estudio muestra que existen inconsistencias en la interpretación comúnmente aceptada para las rocas lávicas. Se ofrece en el trabajo una solución de compromiso compatible con las evidencias conocidas, que debe ser entendida como una hipótesis a corroborar en futuras investigaciones.

Palabras clave: roca volcánica, Paleozoico Superior, Pirineo catalán, riolita, ambiente subacuático, didáctica, Museu de Geologia de Barcelona, Universitat de Barcelona. España.

INTRODUCCIÓN

Hasta el momento no se conoce la presencia de manifestaciones riolíticas en el volcanismo neógeno y cuaternario catalán. Por el contrario, rocas volcánicas de esta composición son relativamente frecuentes en los materiales paleozoicos de las Cadenas Costeras Catalanas y del Pirineo, presentando diferentes características texturales

y edades variadas. Entre estas rocas paleozoicas sin duda las más conocidas y estudiadas son las correspondientes al Carbonífero Superior y al Pérmico del Pirineo; han facilitado este conocimiento tanto la importancia y continuidad de los afloramientos como el elevado grado de preservación de sus características texturales y mineralógicas. Por estos motivos se puede entender fácilmente que estas rocas fueran precozmente estudiadas (San Miguel de la Cámara, 1934), a pesar de su lejanía respecto de los centros universitarios y de investigación, y que hayan sido reiteradamente utilizadas, en ausencia de otras riolitas más modernas, como ejemplos locales en las colecciones de didáctica del Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universitat de Barcelona al menos desde inicios de los años 60.

Por otra parte, los vínculos que desde inicios de siglo han existido entre el Museu de Geologia y la Universitat de Barcelona han facilitado la existencia de colecciones de rocas compartidas y/o duplicadas en los fondos de ambas instituciones, con especial incidencia en lo que se refiere a las colecciones de rocas ígneas. Es el caso específico de las rocas volcánicas riolíticas objeto de este estudio. Partiendo de estas premisas, se ha enfocado el presente trabajo con los siguientes objetivos:

- Estudio y catalogación de las rocas riolíticas catalanas disponibles en el Museu de Geologia, y especialmente de las láminas delgadas de la colección San Miguel de la Cámara; es decir, de las utilizadas en el primer estudio publicado de estas rocas (San Miguel de la Cámara, 1934).

- Estudio de las rocas riolíticas catalanas disponibles en las colecciones del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Universitat de Barcelona. Este estudio ha incluido la realización de una colección completa de nuevas láminas delgadas de lavas riolíticas, que pasará a formar parte de la colección de docencia, y la descripción detallada de las láminas preservadas hasta la actualidad, de las que hemos intentado establecer su procedencia en la medida de lo posible.

- Revisión crítica de los datos disponibles sobre estas rocas, con el doble propósito de intentar establecer la posible procedencia de las colecciones estudiadas y de proporcionar un resumen de utilidad didáctica sobre estas rocas.

- Descripción de las principales características texturales de estas rocas, con especial hincapié en las lávicas, tanto por lo que tienen de singular e indicativo con respecto al medio deposicional, como por lo que se refiere a facilitar el uso didáctico que de ellas se hace.

Estos objetivos han sido complementados, cuando ha sido necesario, con una serie de análisis de roca total y de difracción de rayos X sobre muestras seleccionadas, para poder caracterizarlas más precisamente y reforzar las conclusiones obtenidas en los otros apartados.

ANTECEDENTES Y CONTEXTO GEOLÓGICO

El sector de procedencia de las muestras en estudio está situado en el sector centro-oriental del Pirineo catalán, en el espacio comprendido entre los ríos Segre y Ter (Fig. 1). En la vertiente sur del Pirineo catalán existen toda una serie de cuencas intra-

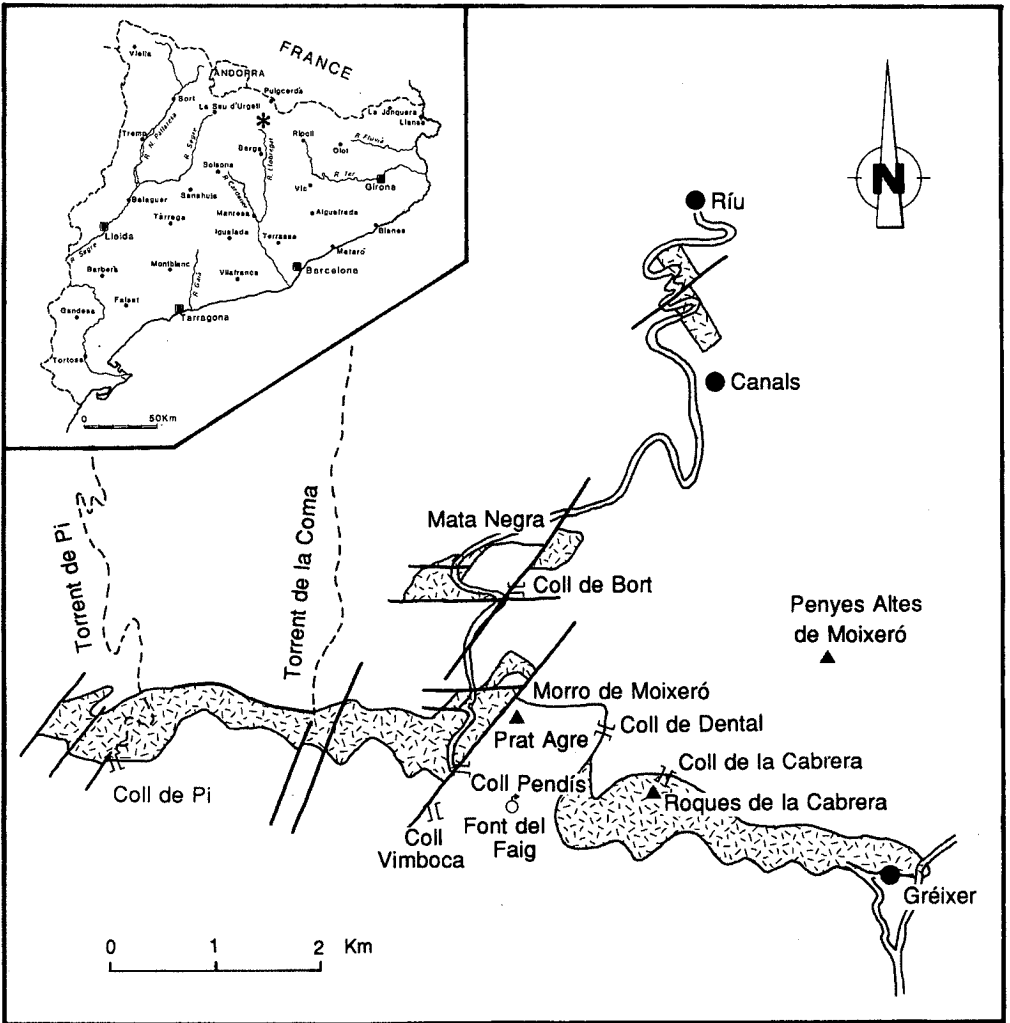


Fig. 1. Esquema de situación de los afloramientos riolíticos del sector de Gréixer (según Bixel 1984, modificado).

Fig. 1. Location sketch of rhyolitic outcrops from Gréixer zone (after Bixel, 1984, modified).

montañosas de edad estefano-pérmica, que contienen importantes cantidades de materiales volcánicos y volcanoclásticos de afinidad calcoalcalina, con un rango de edades que va al menos desde el inicio del Estefaniense medio hasta el inicio del Pérmico superior. Estos materiales presentan un carácter postorogénico respecto a la orogenia hercínica y han sido implicados en la tectónica alpina, siendo incorporados a unidades alóctonas

El primer estudio sobre las rocas volcánicas que nos ocupan corresponde a San Miguel de la Cámara (1934); este autor localiza y cartografía los principales afloramientos lávicos del sector de Gréixer, identifica las rocas como volcánicas de composición riolítica, en base a su textura y composición mineralógica, y les atribuye una edad postpérmica y precretácica, teniendo en cuenta sus relaciones de yacimiento con las rocas sedimentarias de la zona. En realidad, esta edad por acotación puede revisarse, ya que hoy en día sabemos que los materiales infrayacentes son de edad devónica superior o carbonífera (no pérmicos, en todo caso).

El mismo San Miguel de la Cámara (1936, pp. 162-163) incluye una referencia a estas rocas en su obra compilatoria sobre las rocas ígneas españolas, así como en otros trabajos de carácter general sobre volcanes y erupciones de rocas volcánicas de España. Se trata sencillamente de citas resumidas del trabajo inicial de 1934.

Con posterioridad no se conocen trabajos hasta que Morre y Thiébaud (1964, 1966) realizaron un estudio petrográfico y geoquímico de algunas muestras de rocas volcánicas del Pirineo central, incluyendo una procedente del sector del Coll de Pendís (calificada como albitófiro, aparentemente alterada), en las proximidades de Gréixer. No ofrecen datos volcanológicos o cronológicos de interés y la interpretación petrogenética sobre estas muestras parece hoy totalmente desfasada; podemos concluir que se trata de un trabajo menor que carece de la riqueza descriptiva y las conclusiones que presenta el primer estudio de San Miguel de la Cámara.

De esta misma época data un trabajo monográfico inédito realizado por Tourís (1965) en la cátedra de Petrología de la Universitat de Barcelona, en el que se siguen las líneas principales del trabajo de San Miguel de la Cámara (1934), distinguiéndose cartográficamente en el seno de las riolitas diferentes unidades de coloración (esencialmente dos bandas, septentrional y meridional respectivamente, de riolita morada en el seno de la riolita verde) y recogiendo muestras que han pasado a engrosar la colección de la Universitat de Barcelona.

Con posterioridad, otros autores (p.e., Nagtegal, 1969) han tratado la existencia de intercalaciones volcánicas en la secuencia estefano-pérmica del Pirineo, si bien desde el punto de vista de la geología regional y sin aportar novedades substanciales de tipo petrológico.

Puga y Fontboté (1979) ofrecen el primer estudio de tipo petrológico moderno de las rocas lávicas del sector de Gréixer, con detalladas descripciones petrográficas, análisis geoquímicos (elementos mayores), estudio cuantitativo de la paragénesis mineral e interpretaciones petrogenéticas. A los efectos que nos interesan, señalan un carácter eminentemente estratiforme para estas rocas, una zonación vertical que incluye la existencia de cuerpos inferiores y superiores de brechas de pumitas, y un nivel superior de cineritas. Atribuyen a todo el conjunto una rápida secuencia de depósito por la ausencia de discontinuidades importantes y/o intercalaciones, interpretan la roca volcánica esencialmente como una roca de tipo ignimbrítico sometida a importantes fenómenos de reomorfismo, y le adjudican tentativamente una edad

autuniense, a falta de mejores criterios de datación. Petrográficamente reconocen una cierta ubicuidad en la presencia de texturas perlíticas en la roca que interpretan como reoignimbrita. Por lo que se refiere a la composición química, indican que se trata de rocas esencialmente riolíticas, localmente riocáciticas, y señalan el elevado contenido en elementos alcalinos, que pudieran corresponder a comenditas (riolitas peralcalinas primarias) o bien a un fenómeno de alteración posteruptivo. Basándose en la petrografía proponen una secuencia de cristalización (cuarzo-plagioclasa, posteriormente cuarzo-plagioclasa-feldespatos potásico) en los diagramas Q-Or-Ab y Q-Or-Ab-An (Winkler *et al.*, 1975) suponiendo unas condiciones de P_{H_2O} de 5 Kb. Finalmente, por lo que se refiere al contexto regional señalan la asociación de las rocas volcánicas estefano-pérmicas del margen sur del Pirineo con la existencia de un conjunto de fracturas de rumbo de disposición longitudinal que han desarrollado juego distensivo en el momento de la actividad eruptiva.

Gisbert (1981) procedió en su tesis al estudio del Estefaniense y Pérmico del Pirineo, principalmente desde el punto de vista de la estratigrafía y la petrología sedimentaria. Como una de las conclusiones más importantes de su trabajo tenemos la subdivisión de los materiales continentales de estas edades en unidades informales con connotaciones cronoestratigráficas que contienen tanto materiales detríticos como intercalaciones volcánicas (y epiclásticas):

- Unidad Gris (UG) de edad estefaniense B.
- Unidad de Tránsito (UT), estefano-autuniense.
- Unidad Roja Inferior (URI), autuniense. Esta unidad sería la que contiene las lavas riolíticas objeto de nuestro estudio. Están ubicadas según este autor en el extremo oriental de la cuenca del Cadí, ocupando una posición de umbral respecto a la cuenca contigua oriental.
- Unidad Roja Superior (URS), de edad pérmica media-superior.
- Unidad Buntsandstein, triásica.

Desde el punto de vista climático, la UT representa el tránsito desde un clima tropical húmedo con altas tasas de precipitación anual (UG) a un clima marcadamente seco de estepa tropical (URI) (Gisbert, 1981; Gascón y Gisbert, 1987). Un rasgo que merece ser destacado es que las dataciones paleontológicas presentes en este estudio son relativamente escasas, por el tipo de materiales implicados (continentales, pobres en fósiles), y que, consecuentemente, muchas de las atribuciones se basan en correlaciones litoestratigráficas. Dada la naturaleza de los materiales, en ocasiones limitaciones lógicas en estos casos, acrecentadas por el hecho de que la tesis no presenta una cartografía detallada del amplio sector estudiado. En otro orden de cosas, podemos indicar que el trabajo de Gisbert (1981) incluye también algunas descripciones petrográficas y análisis geoquímicos (roca total) de las coladas lávicas que nos ocupan (así como de los diferentes episodios piroclásticos estefano-pérmicos del Pirineo).

Bixel (1984) en su detallado estudio sobre el volcanismo estefano-pérmico del Pirineo distinguió desde el punto de vista petrogeoquímico 5 episodios volcánicos (los 5 en la cuenca del Cadí), referidos a las unidades litoestratigráficas informales antes mencionadas:

- Volcanismo ácido y básico calcoalcalino, de edad estefaniense A-B (UG).
- Volcanismo ácido calco-alcalino, estefaniense C- autuniense gris (UT).
- Volcanismo ácido alcalino y peraluminico, autuniense rojo (URI).
- Volcanismo básico calcoalcalino con ascendente alcalino, autuno-saxoniense (URS).
- Volcanismo básico (basaltos alcalinos en el Saxoniense terminal) (URS).

Este autor (*op. cit.*, p. 369) incluye dentro del tercer episodio (URI) las riolitas peraluminicas alcalinas del Torrent de la Ribolaina (al oeste de Gréixer), con dos niveles en el este de la cuenca del Cadí, en Castellar de N'Hug. Estas rocas reposan directamente sobre el zócalo hercínico (Cadí), pero en Castellar de N'Hug estarían intercaladas en la URI. Esta unidad sería litológicamente asimilable a la Fm de Peranera (Malpàs, Pirineu de Lleida) que fue datada por J. Broutin como autuniense (*in* Gisbert, 1981). Por lo que se refiere al conjunto principal de riolitas, de naturaleza lávica, comparando este sector con el francés del Midi d'Ossau (en el que identifica con precisión la existencia de una caldera volcánica de colapso) llega a la conclusión que los afloramientos lávicos que nos ocupan corresponden a estructuras volcánicas diferentes de carácter independiente, concretamente a un conjunto de exodomas individuales. Bixel argumenta que, a diferencia del Midi d'Ossau, en el sector de Gréixer no se distingue la existencia de estructuras de diques en anillos anulares ("ring dike") con textura holocristalina granular o microgranular, con lo que si existiera una estructura volcánica de aparato central que no ha sido puesto a la luz por la erosión, estaría por debajo de las molasas pérmicas, mientras que las ignimbritas (p.e., sector de Castellar de n'Hug) y coladas aflorantes serían consecuentemente de tipo extracaldérico.

Para él (*op. cit.*, p. 399) los afloramientos del sector este del Cadí están constituidos por tres domos exógenos principales: el de Pi, el de Pendís y el de la Cabrera. Otros afloramientos de importancia menor serían Bastanist, Riu y Mata Negra. Argumenta en favor de estas identificaciones como aparatos volcánicos de tipo dómico las evidencias contenidas en una serie de cartografías de detalle de cada uno de ellos, incluyendo el estudio detallado de las direcciones de flujo magmático en los elementos planares de las riolitas y una restitución de cada uno de los domos a su disposición con anterioridad a ser afectados por las deformaciones de la orogenia alpina (que consisten principalmente en desplazamientos laterales e inclinaciones de los materiales). Igualmente describe el carácter zonado de alguno de los domos y la presencia en la base de alguno de ellos (p.e., el de Pi) de un nivel basal de brechas riolíticas con textura perlítica, hecho que implicaría su emplazamiento al menos parcial en un medio subacuático.

Por lo que se refiera a la caracterización geoquímica y petrográfica de las coladas lávicas Bixel (1984) señala que las riolitas peraluminicas de los domos exógenos del este del Cadí presentan variaciones geoquímicas relativamente importantes referidas esencialmente a 4 elementos mayores: Na, K, Si y Al. Consecuentemente, al comparar las diferentes rocas mediante el uno de sus normas CIPW los términos más silícicos (76 a 80% de SiO₂) presentan egrina normativa, mientras que los menos silícicos (70-76% SiO₂) son o bien riolitas peraluminicas poco modificadas con minerales magmáticos presentes (caso de las riolitas del domo de Pi con sanidina y almandino) o bien riolitas albitizadas, lo que ha conducido a la pérdida de SiO₂ y a la ganancia de Al y Na. De este modo la mayor parte de las variaciones registradas pueden relacionarse

con fenómenos de metasomatismo relacionados con ganancias o pérdidas de sílice, lo que repercute directamente en la caracterización de la roca volcánica mediante el cálculo de la norma CIPW. Aporta para estas consideraciones un volumen notable de análisis de roca total y microanálisis de química mineral con empleo de microsonda electrónica. Podemos concluir que este autor ofrece por primera vez una caracterización petrológica y volcanológica completa de estas rocas, dentro del marco más amplio del conjunto de rocas volcánicas tardihercénicas del Pirineo.

Por lo que se refiere al origen del volcanismo estefano-pérmico del conjunto del Pirineo, señala que en buena parte los materiales ácidos pueden ser considerados como el producto de fusión de metasedimentos (magmas de tipo S), y que en determinados momentos y zonas existen aportes de magmas mantélicos, en parte de afinidad tholeiítica. Las riolitas del sector de Gréixer serían riolitas peraluminicas (con corindón normativo) generadas a expensas de la fusión parcial de metasedimentos.

Todo este volcanismo aparece relacionado con cuencas sedimentarias generadas por la acción de fracturas transcurrentes. Por vez primera este autor (Bixel, 1984, Bixel et Lucas, 1987) traza detalladamente sobre un mapa las principales fracturas que controlaron el ascenso y emplazamiento de las rocas volcánicas en la superficie terrestre indicando su juego y evolución temporal, e intenta correlacionarlas con el sistema tensional existente en Europa Occidental.

Por su parte, Martí (1986) en su tesis doctoral, y en posteriores trabajos con diferentes colaboradores, analiza también de una manera global el tema del volcanismo tardihercénico del Pirineo catalán. Este autor estudia por primera vez con gran detalle las rocas piroclásticas producidas durante la actividad explosiva e intentando aplicar modelos de tipo actualístico para interpretar las sucesiones de rocas volcánicas presentes. Este nuevo y diferente enfoque hace que modifique la interpretación que se realiza de diferentes unidades y conjuntos litológicos, y en particular de los que nos ocupan.

En primer lugar, en su opinión, la zona de Gréixer continuaría ejerciendo una función de relieve positivo en el umbral que separa las cuencas del Cadí y de Castellar de N'Hug, pero separa toda esta zona de la cuenca del Cadí a diferencia de lo propuesto por Gisbert (1981) y mantenido por Bixel (1984), atribuyéndola al extremo occidental de la cuenca contigua, que pasa a denominar de esta manera cuenca de Gréixer-Castellar de N'Hug-Camprodo. Para ello se basa en que la UG no se depositó en todo este conjunto, en que la unidad de tránsito está pobremente representada (principalmente por rocas volcánicas: domo dacítico de Camprodo y por unas ignimbritas que aparecen en la base de las riolitas de Gréixer) y en la interpretación volcanológica que realiza del conjunto de rocas volcánicas de la URI.

Por lo que se refiere a la división del volcanismo tardihercénico propuesta por Bixel (1984), Martí (1986, p. 41) indica que al menos para el Pirineo catalán no parece adecuada, ya que desde el inicio de la sedimentación de la UG hasta el final de la URI e incluso en los niveles inferiores de la URS existe un registro prácticamente continuo de actividad volcánica, en especial si se hace referencia a los episodios piroclásticos de tipo calcoalcalino. Una característica muy significativa del trabajo de Martí (*op. cit.*) es que consigue distinguir en base a sus características volcanológicas las ignimbritas presentes en las unidades UG y UT como de tipo hidromagmático (y consecuentemente relacionadas con un clima en el que la disponibilidad de agua era muy abundante, hasta el punto de condicionar la fenomenología eruptiva a través de

la interacción magma-agua meteórica en el subsuelo), mientras que las de la URI serían típicamente magmáticas, reflejando condiciones climáticas de aridez y escasez de agua (Martí, 1986; Martí y Barrachina, 1987; Martí y Mitjavila, 1988). Hay que destacar que esta interpretación es perfectamente coherente con las conclusiones paleoclimáticas obtenidas del estudio de los paleosuelos de estas unidades (Gisbert, 1981; Gascón y Gisbert, 1987).

Por lo que se refiere específicamente al complejo volcánico de Gréixer-Coll de Pi, indica que es el más importante de los que existen en la URI, constituyendo un afloramiento continuo de 12 km de extensión, con un espesor medio de 400 m. Dentro de este complejo distingue la existencia de depósitos piroclásticos y lávicos, siendo estos últimos los más importantes volumétricamente (*op. cit.* p. 59). Por lo que se refiere a la interpretación del significado volcanológico de este conjunto, discrepa abiertamente de que se trate de un conjunto de exodomas aislados, basándose entre otros criterios en la existencia de :

- depósitos piroclásticos plinianos de caída en la base y el techo de las riolitas
- depósitos de nube ardiente en el techo de la secuencia
- niveles piroclásticos intercalados entre las coladas lávicas
- los cambios de coloración y alteración que presentan las lavas

Igualmente, en su opinión, la constancia en el buzamiento de las coladas (080-110/40-80 S) en todo el afloramiento apunta hacia la emisión de diferentes coladas desde diferentes centros eruptivos. La no existencia de niveles de erosión entre ellas y la conservación de los depósitos piroclásticos demostraría que el emplazamiento de estos materiales se produjo dentro de una cuenca que experimentaba una subsidencia igualmente rápida. Esto, unido al hecho de que en su interpretación volcanológica (y en la paleorreconstrucción de la cuenca de Gisbert, 1981) la cuenca representa un umbral (y por lo tanto una zona elevada) nos indicaría, siempre según Martí y colaboradores, que este complejo riolítico correspondería a una caldera de colapso originada directamente por la actividad volcánica en esta zona. De este modo relaciona las ignimbritas riolíticas magmáticas intercaladas en la URI en el sector de Castellar de N'Hug con la actividad explosiva que se habría desarrollado en el sector de Gréixer (Martí, 1986, 1991; Martí y Barrachina, 1987; Martí y Mitjavila, 1987, 1988).

En conjunto, esta interpretación integral de las unidades volcánicas de la URI de la cuenca de Gréixer-Castellar de N'Hug-Camprodo es extremadamente sugestiva desde el punto de vista volcanológico. Sin embargo, en honor a la verdad hay que recordar también que mientras Bixel (1984) aporta cartografías de detalle y esquemas estructurales de cada uno de los afloramientos que interpreta como exodomas, Martí no ha realizado en todos estos trabajos una cartografía de detalle, apoyándose en una cartografía general no excesivamente diferente de la de San Miguel de la Cámara (1934), para el sector de Gréixer, y en la de Muñoz (1985), para el sector de Castellar de N'Hug. En el sector intermedio entre ambas zonas se carece de la necesaria base cartográfica publicada para poder establecer una correcta correlación que apoye la interpretación volcanológica de Martí (1986), y en parte los materiales que nos interesarían posiblemente no afloran. Es posible por lo tanto que la discriminación sobre la validez relativa entre los modelos volcanológicos propuestos por Bixel y Martí no pueda realizarse sino mediante criterios indirectos que procedan de otros estudios.

En otro orden de cosas, Martí (1986) ofrece igualmente un importante volumen de análisis geoquímicos de roca total que confirman la caracterización de estas rocas como riolitas, y concluye que el ciclo volcánico calcoalcalino estefano-autuniano está representado por un conjunto de materiales derivados de la fusión de materiales corticales, al menos en el caso de las lavas e ignimbritas riolíticas.

Gilbert *et al.* (1994) ofrecen, en un trabajo de carácter esencialmente geoquímico, por una parte la confirmación del origen anatéctico a partir de fusión parcial de meta-sedimentos para los magmas que generaron estas rocas (mediante el estudio e interpretación de los espectros de tierras raras obtenidos sobre roca total), y por otra parte por primera vez una edad absoluta (320 ± 2 Ma) obtenida mediante isócrona Sm/Nd (granate/roca total) de una muestra de lava del sector de Coll de Pi. Esta edad, correspondiente aproximadamente al Namuriense medio, entra en flagrante contradicción con las dataciones por acotación y correlación estratigráfica que se habían aceptado implícita o explícitamente desde la tesis de Gisbert (1981) por todos los autores que han trabajado en esta zona. Por lo tanto, aceptando la bondad del método de datación y la adecuación de la muestra utilizada a éste, se generan algunos problemas importantes respecto a la evolución geológica de este sector del Pirineo que deben ser analizados.

Tal como han resaltado Innocent & Briquieu (1995), las implicaciones de esta edad son esencialmente dos: o en realidad los granates empleados en la medición son xenocristales que podemos considerar residuos sin fundir de rocas metamórficas más antiguas, que han sido reciclados e incorporados al magma que los contiene sin que se haya modificado esencialmente su edad (con lo que la edad que presentan sería la edad mínima de las rocas metamórficas a partir de las que se ha generado el magma por fusión parcial); o bien en realidad tendríamos rocas peralumínicas muy parecidas mineralógica y geoquímicamente, generadas en dos momentos diferentes de la historia geológica del Pirineo, es decir, separados en el tiempo unos 40-50 Ma (p.e., las rocas que nos ocupan tendrían unos 40 Ma más que otras comparables presentes en el sector de Midi d'Ossau en (Francia).

Si analizamos la información disponible (Gilbert & Rogers, 1989), parece poderse descartar (con argumentos geoquímicos y petrográficos) que los granates sean xenocristales. Por otra parte ya ha sido indicado anteriormente que no existe una clara delimitación de la edad de las riolitas por acotación estratigráfica, de manera que la edad máxima podría ser tanto carbonífera inferior (atendiendo a los materiales hercínicos subyacentes en el sector norte) como pérmica inferior si el permotriás de San Miguel de la Cámara (1934) corresponde a la URI definida por Gisbert (1981). Es evidente que si la datación fuera correcta deberían reestudiarse los modelos volcanológicos descritos por Martí y colaboradores (Martí, 1986, 1991; Martí y Barrachina, 1987; Martí y Mitjavila, 1987, 1988; etc.), no tanto por lo que se refiere a la modelización de los eventos explosivos que dieron lugar al desarrollo de ignimbritas como por la posible situación del foco eruptivo de procedencia (en el caso de las ignimbritas de la URI) y por la disposición como estructura volcánica topográficamente prominente con evolución en sistema de caldera activa (en el caso de las coladas lávicas de Gréixer). Igualmente, tanto la distribución de ciclos magmáticos como los modelos geodinámicos del Pérmico del Pirineo propuestos por Bixel (1984, 1987) y Bixel et Lucas (1987) deberían ser sometidos a importantes revisiones. En contrapartida, la distribución informal de unidades continentales del Carbonífero Superior y el Pérmico del Pirineo comúnmente aceptada quedaría relativamente inalterada, con la simple exclusión del complejo volcánico de Gréixer de la URI.

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Al haber estudiado muestras fuera de su contexto, hemos preferido insistir en su caracterización mediante criterios petrográficos. En realidad, la distinción macroscópica de riolitas lávicas y sus equivalentes piroclásticos es en general difícil en materiales tan antiguos, en especial si el grado de soldadura entre los piroclastos es importante, si la roca ha sufrido importante desvitrificación, y si ha sufrido deformaciones reomórficas antes de su total litificación.

Hemos optado por incluir los resultados del estudio petrográfico en un cuadro sintético (Tabla nº 2), para evitar caer en una descriptiva tediosa. En general podemos indicar que la colección de la Universitat de Barcelona está esencialmente constituida por rocas de naturaleza lávica. Las características más generales de estas rocas son su carácter holocristalino (por desvitrificación, ya que existen evidencias claras de un carácter primario en general hipocristalino) porfírico, con un marcado predominio de los fenocristales de cuarzo sobre los feldespatos. Otros fenocristales, como la biotita o el granate, presentan carácter puramente accesorio y no siempre aparecen. Los feldespatos son esencialmente sanidina (muy alterada y de difícil reconocimiento) y plagioclasa muy rica en componente albítico. Dada la composición química de las rocas es razonable suponer que este segundo feldespato corresponde a un proceso de albitización (Bixel, 1984; Martí, 1986).

La mayor parte de las muestras lávicas presentan un marcado bandeado, en muchos casos bien marcado a simple vista por la diferente coloración de las bandas adquirida durante el proceso de desvitrificación. Este bandeado, además, es de flujo magmático. La evidencia de que el bandeado se ha producido por flujo magmático reside en el hecho de que los microlitos aparecen orientados (estadísticamente) en su posición hidrodinámicamente más estable (paralelos a la dirección de flujo); y los fenocristales aparecen frecuentemente rotados y/o generando zonas de sombra dispuestas paralelamente a la dirección de flujo de la muestra (p.e., formando pequeños pliegues de reflujos en las bandas en la citada zona de sombra). Este bandeado esencialmente refleja la existencia de diferencias de viscosidad entre diferentes láminas del magma en movimiento. Estas diferencias de viscosidad pueden aparecer tanto en el interior de la cámara magmática como producirse durante el proceso eruptivo, p.e., debido a la selectiva cristalización en una banda de un determinado mineral en forma de microlito; y algunos autores han demostrado que puede reflejar la existencia de ligeras variaciones químicas entre banda y banda (p.e., en el contenido en determinados elementos alcalinos).

Un bandeado semejante puede producirse durante el proceso de desplazamiento reomórfico (p.e., descendiendo a lo largo de una vertiente más o menos pronunciada) de una unidad piroclástica emplazada a alta temperatura, intensamente compactada y soldada; esto sucede típicamente en las rocas alcalinas y peralcalinas subaéreas. Esto explica que Puga y Fontboté (1979) interpretaran estas rocas como materiales piroclásticos. Sin embargo, existen diferentes criterios, tanto macroscópicos como petrográficos (Gimeno *et al.* 1996) que permiten distinguir con claridad que no se trata, en el caso que nos ocupa, de materiales piroclásticos: ausencia de vitrófiro basal, ausencia de vitroclastos tricúspides ("shards") más o menos soldados y deformados, ausencia de texturas eutaxíticas relicticas y, sobre todo, carácter continuo de cada una de

las bandas, en lugar del carácter pseudobandeado formado por amalgamiento de vitroclastos muy estirados que caracteriza a las piroclastitas soldadas y reomórficas.

Otra textura primaria de las rocas es la presencia de microvesiculación deformada y restringida a una banda de flujo (véase p.e. la muestra 2631). De todos modos, normalmente la antigua vesiculación aparece reflejada en una textura amigdalara en la que el relleno de las antiguas vesículas está esencialmente conformado por material silíceo, en ocasiones en disposición fibroso-radiada. En el caso de una roca piroclástica la vesiculación aparece normalmente no confinada a una pseudobanda y además tiene tendencia a ser macrovesiculación (Gimeno *et al.* 1996).

Existen en estas rocas toda una serie de texturas menores indicativas de sobreenfriamiento, en general excelentemente preservadas. Entre ellas cabe destacar:

- La presencia de fenocristales de cuarzo esquelético (p.e. en la muestra 2624). Los cristales esqueléticos se forman en medios saturados en la fase mineral correspondiente, en condiciones de sobreenfriamiento, típicamente en el caso de rocas volcánicas en ambientes submarinos.

- Textura perlítica (p.e. en las láminas: 1024, 4365, 4366). La textura perlítica se superpone a la bandeada fluidal, a la hialoporfirica hipocristalina, etc. La textura perlítica se produce por rápida contracción (por sobreenfriamiento) del líquido riolítico en sus últimos estadios de litificación (vitricación), típicamente producido en el caso de erupciones lávicas en medio subacuático. Las fracturas presentan una morfología esférica concéntrica, en general dispuesta alrededor de un foco de anomalía térmica (p.e., un fenocristal o un xenolito de pequeñas dimensiones) en el vidrio. En las muestras antiguas como las estudiadas la textura perlítica se manifiesta por la cristalización posterior en la cavidad de la fractura de cuarzo microcristalino de tamaño ligeramente mayor al de la mesostasa desvitricada microcristalina (anteriormente hialina). Este tipo de texturas no deben ser confundidas, a pesar de la desafortunada homonimia, con las generadas en un vidrio volcánico por un proceso de hidratación meteórica tardía (perlitización). Una perlita es una roca volcánica vítrea rica en volátiles (del orden del 5%), ya sean primarios, adquiridos en el proceso de emplazamiento o de origen supergénico tardío, que es susceptible de ser expandida mediante un proceso térmico, al objeto de aprovechar las propiedades tecnológicas (esencialmente la capacidad de aislante térmico) que adquiere mediante este proceso. Es decir, que un vidrio volcánico generado en ambiente subacuático puede presentar textura perlítica siendo o no siendo una perlita en el sentido industrial del término.

- Microfracturación curva en los fenocristales de cuarzo (p.e. en las láminas 1024, 2624, 4365, 4366). Producida también por sobreenfriamiento (choque térmico, "thermal shock" *sensu* Gimeno, 1994) en un medio subacuático, es la análoga en los cristales de cuarzo a la textura perlítica del vidrio y suelen aparecer asociadas.

En la mayor parte de las muestras de Gréixer los fenocristales de cuarzo presentan evidencias de metaestabilidad en el líquido e inicio de corrosión (Donaldson and Henderson, 1988). Dada la composición de la roca (riolitas con alto contenido en SiO₂, si bien en muchos casos claramente silicificadas a posteriori) no cabe pensar que el proceso de corrosión sea debido a desequilibrio químico, sino más bien a que el líquido se emplazó a temperatura muy elevada (magma sobrecalentado).

Por otra parte, la mayoría de las muestras lávicas de Gréixer exhiben evidencias de desvitrificación en el estadio esferulítico y/o micropoiquilítico. En general, los estadios de evolución de un proceso de desvitrificación en una roca de composición riolítica se refieren al modelo de Lofgren (1971). Este autor distingue tres estadios principales: vítreo, esferulítico y granofírico.

- Vítreo: Se caracteriza petrográficamente por presentar una textura de obsidiana (o en un caso más general, con marcado predominio del vidrio sobre los cristales) con algunos esferulitos aislados. En este estadio existe preservación de estructuras vítreas, perlíticas, inhomogeneidades primarias resaltadas por la diferente birrefringencia del vidrio (sectores con inicios de hidratación, etc.), estructuras formadas por asociación de globulitos, etc.

- Esferulítico: La transición desde el anterior queda marcada por el paso de la mesostasa a una matriz criptocristalina con cristallitos de extinción independiente. Durante esta transformación se produce obviamente la destrucción de parte de la textura original del vidrio, antes evidenciada por las diferencias de birrefringencia de éste. Dentro del estado esferulítico propiamente dicho, la textura aparece dominada por la presencia de esferulitos y/o cuarzo micropoiquilítico, pudiendo o no existir la textura orb y los axiolitos en función de la existencia o no de inhomogeneidades previas en el vidrio, y de su composición. Las experiencias de Lofgren (1971) demuestran que la existencia del cuarzo micropoiquilítico en rocas de composición riolítica es un buen indicador de un estado vítreo previo. La hipotética desaparición de toda traza de esferulitos y fibras, por recristalización en individuos de mayor tamaño, conduciría según este autor al estadio granofírico o granítico.

Las láminas estudiadas procedentes de la colección San Miguel de la Cámara del Museu de Geologia presentan algunas limitaciones a su estudio, relacionadas con su antigüedad; en general se trata de muestras mucho más gruesas de lo que actualmente consideramos normal para un estudio petrográfico, y por otra parte en algunos casos el elemento adhesivo, que es bálsamo del Canadá, presenta desestabilizaciones y/o recristalizaciones. Sin embargo, en líneas generales su estado de conservación es bueno y permiten un adecuado reconocimiento de las texturas, siempre que se esté familiarizado con ellas de antemano, y que se tenga presente que los colores con los que aparecen minerales como el cuarzo son mucho más altos de lo que debieran en una lámina delgada de espesor normal. Una limitación importante para el estudio de rocas volcánicas como las que nos ocupan es que las desvitrificaciones normalmente sólo pueden ser adecuadamente estudiadas en láminas muy delgadas, perdiéndose por lo tanto muchas de las informaciones asociadas a estas texturas.

Podemos resumir que la colección San Miguel de la Cámara del Museu de Geologia de Barcelona está constituida por dos grandes grupos de rocas riolíticas, uno de ellos consistente en rocas lávicas análogas a las ya descritas y otro de piroclásticas. Las primeras son en general fácilmente distinguibles, además de por su carácter porfírico y frecuentemente bandeado, por algunas de sus texturas menores, en especial por la presencia de fenocristales de cuarzo con fracturas curvas (choque térmico) y de texturas perlíticas. Como quiera que en las etiquetas identificativas normalmente queda indicada su procedencia de Gréixer, y que disponemos de descripciones detalladas procedentes del trabajo de San Miguel de la Cámara (1934) podemos deducir un origen geográfico análogo al de las colecciones de la Universitat de Barcelona.

El segundo grupo está constituido por rocas comúnmente denominadas “porfiroides”, procedentes esencialmente del Berguedà, que son en la mayoría de los casos rocas piroclásticas de composiciones riolíticas o dacíticas (por lo que se refiere a su contenido en fenocristales, véase más adelante), normalmente bien soldadas, en las que es posible distinguir aún antiguos fragmentos vítreos tales como *shards* o antiguas pumitas, más o menos colapsadas. Más raramente aparecen representados fragmentos líticos. La naturaleza de los depósitos piroclásticos representados es difícil de identificar en la mayoría de los casos, aunque se pueden llegar a reconocer cineritas producto de actividad explosiva relativamente distal, así como láminas atribuibles a rocas de tipo ignimbrítico.

INFORMACIÓN GEOQUÍMICA Y MINERALÓGICA

Además de los criterios cualitativos basados en la presencia de determinados minerales índice en forma de fenocristales, y del uso aproximado de los fenocristales existentes en una clasificación modal aproximativa (doble triángulo de Strekeisen, triángulo superior Q-A-P), normalmente se emplea una clasificación química en la clasificación de las rocas volcánicas (diagrama TAS, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, versión Le Maître, 1989).

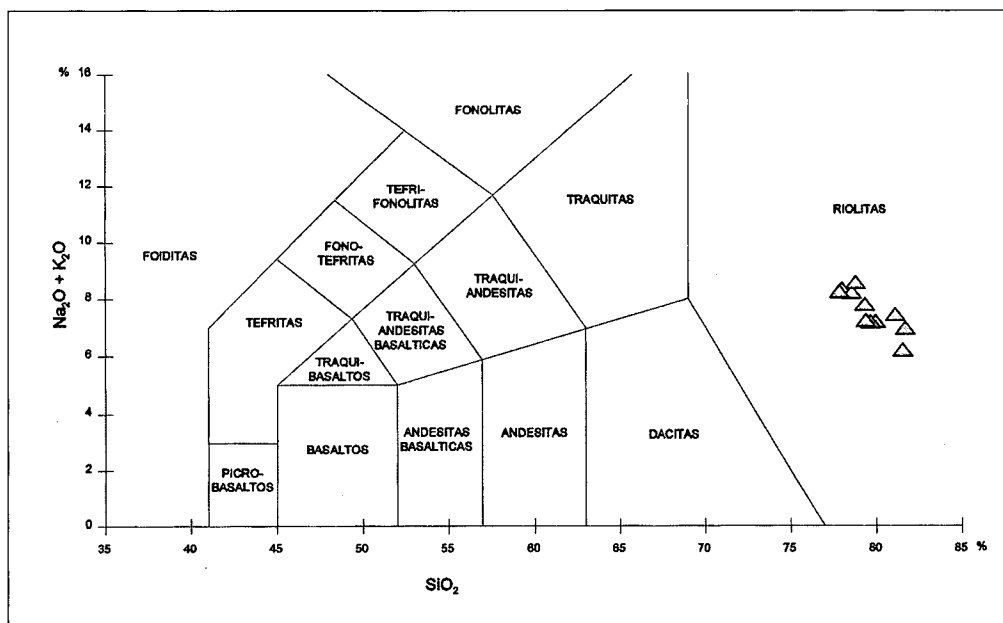


Fig. 2. Representación de las rocas de la Tabla 2 en el diagrama de clasificación TAS (Le Maître, 1989).
Fig. 2. Representation of the analyzed rocks (Table nº 2) on the TAS classification diagram (after Le Maître, 1989)

El diagrama TAS se emplea corrientemente en muestras no alteradas (previo reconocimiento óptico) con contenido en volátiles en general inferior al 3%, recalculando los porcentajes relativos de los óxidos alcalinos y la sílice al 100% sobre una base anhidra. Hay que señalar, sin embargo, que algunas rocas volcánicas naturales presentan en su estado inalterado más de un 3% de volátiles (esencialmente agua), en especial algunas obsidianas riolíticas. A pesar de que el diagrama TAS no incluye los componentes ferromagnesianos en su diseño, la serie riolita-dacita-andesita-(andesita basáltica) aparece razonablemente bien discriminada de las series transicionales y de las rocas alcalinas; el único problema serio que plantea es la distinción de riolitas peralcalinas, alcalinas y subalcalinas. En términos prácticos, normalmente los trabajos que estudian rocas riolíticas sólo distinguen entre riolitas (no peralcalinas) y riolitas peralcalinas; el criterio comúnmente empleado en estos casos es el llamado índice de agpaicidad o razón molar entre álcalis y aluminio: $(Na + K)/Al$. Las riolitas con índice igual o superior a 1 son clasificadas como peralcalinas (agpaíticas).

Por otra parte, sí se utiliza otra clasificación química basada en el empleo de elementos mayores, en concreto la razón SiO_2/K_2O (Peccerillo & Taylor 1976) que permite distinguir entre rocas volcánicas de bajo, medio y alto contenido en potasio. El motivo de la popularidad de esta clasificación entre muchos investigadores es que tiene un interés petrogenético en muchos casos, tanto en asociaciones volcánicas de tipo orogénico (asociaciones calcoalcalinas típicas) como en otras localizadas en ambientes intracontinentales distensivos; en general el incremento en K está directamente relacionado con la mayor participación de corteza continental en la génesis del magma. Por este motivo esta clasificación también ha sido recomendada por la IUGS (Le Maître, 1989), al igual que la distinción química propuesta por Macdonald (1974) entre rocas peralcalinas leucócratas (comenditas) y rocas alcalinas no leucócratas (pantelleritas, en las que predomina el Fe sobre el Al). Sin embargo, es evidente que este tipo de clasificaciones no son de aplicación en el caso de rocas alteradas sometidas a transformaciones metasomáticas; cosa especialmente frecuente en rocas antiguas; en el caso que nos ocupa, Bixel (1984) ha demostrado sobre el diagrama TAS las principales tendencias de alteración de las rocas consideradas.

De hecho, uno de los principales problemas relacionados con las clasificaciones basadas en elementos mayores es que las rocas volcánicas son muy fácilmente alterables, en razón de su elevado contenido en fases metaestables como el vidrio. Por este motivo son frecuentes las pérdidas (en especial de álcalis) y las ganancias (en especial de sílice) de determinados elementos, incluso en rocas muy recientes y aparentemente libres de alteración; por otra parte los contenidos en volátiles son frecuentemente muy elevados (incluso por lo que se refiere a los volátiles primarios), motivo por el que se han buscado diferentes soluciones para su clasificación (principalmente en forma de diagramas gráficos) basadas en el empleo de elementos trazas considerados inmóviles durante el proceso de alteración.

Aunque los intentos han sido muy variados, en el caso de las rocas que nos ocupan los más aceptados son los diagramas propuestos por Winchester & Floyd (1977): $(Zr/TiO_2)/SiO_2$ (en el caso de rocas no silicificadas) y $(Zr/TiO_2)/(Nb/Y)$ en el caso de rocas silicificadas. Un aspecto en el que los diagramas desarrollados por Winchester & Floyd (1977) fallan es en la distinción entre riolitas y riolitas peralcalinas; y es evidente que en rocas alteradas no es posible emplear el índice de agpaicidad. Por otra parte esta distinción es importante, ya que la presencia de riolitas peralcalinas es

en general indicativa de procesos geotectónicos de importancia regional (magmatismo anorogénico y/o diferenciación magmática muy pronunciada). Con el fin de suplir esta carencia, Leat *et al.* (1986) desarrollaron un diagrama Zr/Nb que es efectivo en la discriminación de los diferentes tipos de riolitas.

La clasificación química de las rocas volcánicas piroclásticas es aún más complicada, ya que además de los efectos de alteración ya indicados hay otros factores, inicialmente incontrolables, que en ocasiones impiden una buena clasificación. Estos factores son esencialmente la presencia de líticos, ya sean juveniles o accidentales, en proporciones variables de modo que pueden modificar sensiblemente la composición química del magma original, y la concentración selectiva (normalmente en el medio de transporte) de los fenocristales que, en una roca de la composición que nos ocupa, puede desplazar su composición en los niveles ricos en feldespatos desde el campo de las riolitas hacia el de las rocas alcalinas diferenciadas (traquitas o fonolitas), incluso utilizando diagramas basados en el empleo de elementos considerados inmóviles (ya que éstos se acumulan en los citados feldespatos).

Bixel (1984) y Martí (1986) han utilizado diagramas como el TAS y los desarrollados por Winchester y Floyd (1977) para clasificar adecuadamente estas rocas. Dado que nuestro estudio parte de planteamientos mucho más modestos, nos hemos limitado a analizar algunas de las muestras de lavas de la colección universitaria para comprobar su carácter riolítico, y el grado de alteración sufrido. Además hemos procedido al estudio de la mineralogía (mediante análisis de difracción de rayos X) para confirmar las paragénesis primarias y las de desvitrificación y/o alteración. Nuestros resultados quedan resumidos en la Tabla 1 y la Fig. 2.

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado podemos extraer tres tipos de conclusiones: procedencia y caracterización de las colecciones de muestras estudiadas; idoneidad didáctica de las riolitas lávicas; y finalmente, una visión crítica de los modelos volcanológicos interpretativos propuestos para las riolitas del Paleozoico Superior del Pirineo catalán.

Procedencia de las colecciones

Las rocas presentes en el Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Universitat de Barcelona corresponden a coladas lávicas de composición riolítica. Se trata esencialmente de rocas masivas, aunque alguna de las muestras aparece con textura bréchica, en matriz lávica o hialoclástica. Desde el punto de vista químico son rocas modificadas por interacción con fluidos acuosos, aparentemente calcoalcalinas en origen; la presencia de minerales alumínicos aparentemente magmáticos (en especial granate) en algunos afloramientos indica que los magmas parentales eran peralumínicos, al menos en algunos de los casos cono-

cidos. Por lo que se refiere al medio de emplazamiento, hay claras evidencias de interacción con agua y sobreenfriamiento. La colección de muestras didácticas que se emplean en las clases prácticas de petrografía se ha formado en sucesivos aportes, destacando tanto la presencia de muestras de la colección San Miguel de la Cámara (1934) como un grupo mucho más numeroso recogido en la década de los 60 (Tourís, 1965); en este último caso se conoce su procedencia con una muy buena aproximación. Además en el fondo de litoteca se dispone de algunas muestras procedentes de la tesis de Martí (1986), que no han sido utilizadas en este estudio. En conjunto, se puede afirmar que prácticamente todas las muestras proceden del sector de Gréixer-Coll de Pi.

Por lo que se refiere a las muestras estudiadas del Museu de Geologia de Barcelona, corresponden esencialmente a la colección San Miguel de la Cámara, tanto por lo que se refiere a lavas del mismo sector como a rocas piroclásticas de localización mucho más problemática, normalmente archivadas bajo el epígrafe de “porfiroide”, o más raramente con terminologías obsoletas de *chert*, aludiendo a su carácter afírico y al elevado grado de soldadura y silicificación. Estas muestras piroclásticas carecen de utilidad didáctica, por las elevadas transformaciones sufridas, y se entienden por lo tanto que se optara en su día por no incluirlas en las colecciones prácticas de la universidad.

Idoneidad didáctica

Por lo que se refiere estrictamente a las cualidades didácticas de las riolitas utilizadas en las prácticas de petrografía podemos plantearnos su idoneidad. Podemos indicar que son muestras extraordinariamente bien conservadas, tratándose de materiales paleozoicos e hipocrystalinos en origen. Conservan bien preservadas sus características de porfiricidad y bandedado, así como las evidencias de flujo magmático alrededor de los fenocristales. Igualmente conservan en muchas ocasiones bien preservadas las texturas perlíticas, y las evidencias de los estadios esferulítico y micropoiquilítico de desvitrificación; pero, en general, la fácil observación de estas texturas requiere un entrenamiento petrográfico que normalmente no tienen los estudiantes de primer ciclo de las licenciaturas de geología o ingeniería geológica.

Por otra parte, la intensa desvitrificación en el estadio micropoiquilítico que muestran las riolitas puede conducir a que un observador inexperto confunda estas rocas con litotipos hipoabisales, e incluso plutónicos. La paragénesis primaria de fenocristales aparece únicamente clara en el caso del cuarzo; los feldespatos aparecen en general muy alterados, y es extremadamente difícil el reconocimiento de la sanidina. Además, muchas de las muestras presentan sólo fenocristales de cuarzo, lo que puede conducir a errores conceptuales si no se complementa la colección con muestras en las que la sanidina aparezca bien representada. La presencia de texturas esqueléticas en los cuarzos genera confusiones (con golfos de corrosión) que han de ser convenientemente aclaradas. Las fracturas curvas generadas en los fenocristales de cuarzo sometidos a choque térmico pueden por otra parte hacer que los fragmentos redondeados generados puedan ser confundidos con reabsorciones (corrosión).

En otro orden de cosas, el carácter peraluminico de muchas de estas muestras hace que presenten fenocristales de granate en la paragénesis primaria. Este hecho puede ser útil siempre que: se haya introducido convenientemente en las clases teóricas de clasificación el significado de la presencia de minerales primarios peraluminicos; se disponga del tiempo suficiente para confrontar muestras peraluminicas con riolitas metaluminicas, siendo éstas introducidas previamente; se manifieste claramente en el guión de prácticas y en el curso de la práctica el carácter accidental del granate de cara a la clasificación de la roca como riolita. Ello no evita que se puedan introducir errores conceptuales en alumnos debutantes en clasificación de rocas (típicamente, considerar el granate un mineral esencial en la roca). Otro problema adicional es que los granates, y frecuentemente los escasos máficos que aparecen en estas rocas, suelen aparecer alterados, hecho que conlleva más confusión al alumnado.

En resumen, esta colección de láminas parece más útil para un curso de segundo ciclo o de especialización (volcanismo subacuático, desvitrificación) que no para un curso introductorio, motivo por el que estamos procediendo a sustituirla gradualmente con láminas procedentes de volcanismo reciente de otras localidades.

Revisión crítica de los modelos volcanológicos vigentes

Finalmente, la revisión bibliográfica y la actualización y cruce de datos que ha sido realizada para la preparación de este trabajo ha mostrado que la geología del volcanismo riolítico lávico del Pirineo catalán está lejos de aparecer totalmente clarificada, y por lo tanto merecería un estudio detallado en el futuro. En efecto, las características texturales de las riolitas estudiadas son típicas de emplazamiento subacuático. Esto implica que su área natural de emplazamiento en ambiente subaéreo debiera ser un sector deprimido (típicamente un lago) y no un umbral elevado entre dos cuencas. Eventualmente, otra posibilidad teórica de medio receptor de las coladas lávicas sería un ambiente subglacial (p.e., relacionado con un estratovolcán como los andinos actuales), pero no tenemos evidencias geológicas, paleotopográficas o paleoclimáticas que avalen esta interpretación. De hecho, el ambiente árido propuesto para la URI mal encaja con que las riolitas presenten evidencias claras de interacción con agua y subsiguiente choque térmico. Por último, la contribución de Gilbert *et al.* (1994) proporcionando una edad aparentemente fiable carbonífera para las riolitas se suma a las inconsistencias antes expuestas entre los datos disponibles. A título de hipótesis podemos suponer que todos los autores que han trabajado recientemente en el sector tengan su parte de razón en la interpretación (Bixel en las riolitas lávicas como exodomos, Martí en las riolitas ignimbríticas de la URI como asociadas a otro colapso caldérico...) y que el problema radique precisamente en la no pertenencia de las coladas lávicas a la URI.

Muestra	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	SiO ₂	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	LOI	TOTAL
2626	11,3	0,1	8,3	0,2	78,2	0,1	n.d.	0,6	0,1	0,2	1,0	100,3
2629	11,5	0,0	4,2	0,2	78,5	0,1	n.d.	1,0	0,3	3,0	1,0	99,8
2633	9,7	0,1	6,0	0,4	80,5	0,1	n.d.	0,7	0,1	0,9	1,0	99,6
2635	12,3	0,1	6,2	0,3	76,1	0,1	n.d.	0,6	0,2	1,8	1,1	98,8
2638	11,1	0,1	7,5	0,1	78,3	0,1	n.d.	1,0	0,3	0,2	1,2	99,9
2640	10,5	0,0	5,9	0,1	79,9	0,1	n.d.	0,8	0,4	0,1	1,5	99,5
2641	11,8	0,1	6,9	0,1	78,7	0,1	n.d.	0,6	0,2	0,2	1,3	100,0
2642	10,2	0,0	7,2	0,1	80,4	0,1	n.d.	0,7	0,2	0,2	1,1	100,2
2643	11,6	0,1	5,4	0,2	79,3	0,1	n.d.	0,6	0,2	1,8	1,2	100,3
2646	11,3	0,0	7,9	0,1	77,3	0,1	n.d.	1,1	0,3	0,2	1,1	99,5
2647	6,3	0,1	1,9	0,4	88,8	0,0	n.d.	0,0	0,0	0,1	1,9	99,6
2649	11,5	0,1	7,8	0,6	77,0	0,1	n.d.	0,9	0,3	0,5	1,6	100,2

Tabla 1. Análisis de algunas de las muestras de roca lávica riolítica, silicificadas, del sector de Gréixer.
 Tabla 1. Whole-rock analysis of some silicified lavic rhyolitic rocks form Gréixer zone.

Muestra	Textura Porfírica	Africa	Perlítica	Vesículas /Amígdalas	Choque térmico	Bandeado	Fenocristales esqueléticos	Fragmentaria Hidroclástica	Shards	Pumitas	Fragmentos cristales	Fragmentos líticos
MGB 1306									X	P	X	
MGB 1316									X	X	X	
MGB 2034	X		X			X	X					
MGB 2288	X		X							X	X	
MGB 2643									P	X	X	X
MGB 2644									X	P	X	
MGB 2646		X										
MGB 2646			X		P							
MGB 2647											X	
MGB 2648									X		X	
MGB 2655	X		X		P	X	X					
MGB 2656									X	P		
MGB 2657	X			X	X	X						
MGB 2658											X	
MGB 2663										X	X	X
MGB 2664									X	X	X	
MGB 2664									P	X	X	
MGB 2665							X			P	X	
MGB 2666		X							X	P	P	
MGB 2667										X	X	
MGB 2668									P		X	
MGB 2668									P		X	
MGB 3226									P	P	X	

Tabla 2. Resultados del estudio petrográfico de las láminas delgadas. La cruz indica presencia de la textura, la P indica presencia de la misma textura, pero pobremente representada. UB corresponde a las láminas depositadas en la Universitat de Barcelona, MGB corresponde a las muestras del Museu de Geologia.

Table 2. Results of the thin-section petrographic studies. The cross X means the presence of the texture, P means the presence of the same texture, but poorly represented. UB corresponds to thin-sections deposited in Universitat de Barcelona, MGB corresponds to Museu de Geologia samples.

Muestra	Textura Porfírica	Afírica	Perfílica	Vesículas /Amígdalas	Choque térnico	Bandeado	Fenocristales esqueléticos	Fragmentaria Hidroclástica	Shards	Pumitas	Fragmentos cristales	Fragmentos líticos
UB 1023	X		X	P	X	X	X					
UB 1024	X		X			X	X					
UB 1158	X		P		X	X	X					
UB 2621					P		X		P	X	P	
UB 2624	X		P		X	X	X					
UB 2626	X		X	X	P	X	X					
UB 2627	X				X	X	X					
UB 2628	X			X		X	P					
UB 2629	X			X	X	X	X					
UB 2631	X		P	X		X		X				
UB 2633		X		X								
UB 2634	X			X		X	X					
UB 2635	X		X	X	P	X						
UB 2636-A	X		X	X	P		X	X				
UB 2638			X			P		X				
UB 2640	X			X			X					
UB 2641	X			X	X	P	X					
UB 2643	X			X		X	X					
UB 2646							X		X	X	X	X
UB 2647	X		P		X		X					
UB 2647-b	P		X	P		P	P					
UB 2647-B	X		X		X		P	P				
UB 2647-l	X		X	X	P		P	X				
UB 2649-a	X		X		X	P						
UB 4365	X		X		X	X	X					
UB 4366	X		X		X	X	P					
UB 4370	X			P	X	X						
UB 4372			P	X	P		X	X		X	X	

BIBLIOGRAFÍA

- Bixel, F. 1984. *Le volcanisme Stephano-Permien des Pyrenées*. 619 pp. Thèse de Doctorat d'Etat inéd., Université Paul Sabatier, Sciences, Lab. Géologie-Petrologie, Univ. De Toulouse.
- Bixel, F. 1987. Le volcanisme Stephano-Permien des Pyrenées. Petrographie, mineralogie, géochimie. *Cuadernos Geología Iberica*, **11**: 41-55.
- Bixel, F. et Lucas, C. 1987. Approche géodynamique du Permien et du Trias des Pyrenées dans le cadre du Sud-Ouest Européen. *Cuadernos Geología Iberica*, **11**: 57-81.
- Donaldson, C. H. and Henderson, C. M. B. 1988. A new interpretation of round embayments in quartz crystals. *Mineralogical Magazine*, **52**: 27-33.
- Gascón-Cuello, F. y Gisbert-Aguilar, J. 1987. La evolución climática del Stephaniense, Pérmico y Buntsandstein del Pirineo Catalán en base al estudio de paleosuelos. *Cuadernos Geología Iberica*, **11**: 97-114.
- Gilbert, J. S. and Rogers, N. M. 1989. The significance of garnet in the Permo-Carboniferous volcanic rocks of the Pyrenees. *Jour. Geol. Soc. London*, **146**: 477-490.
- Gilbert, J. S., Bickle, M. J. and Chapman, H. J. 1994. The origin of Pyrenean Hercynian volcanic rocks (France-Spain): REE and Sm-Nd isotope constraints. *Chemical Geology*, **111**: 207-226.
- Gimeno, D. 1994. Genesis of crystal-rich epiclastic rocks from subaqueous silicic lava domes: role of thermal shock on quartz phenocrysts. *Sedimentary Geology*, **90**: 33-47.
- Gimeno, D., Assorgia, A., Díaz, N. y Segura, C. 1996. Vitrófiros basales en rocas piroclásticas riolíticas: el caso de la Unità di Nuraxi (Sulcis, SW de la isla de Cerdeña, Italia), *Geogaceta*, **20** (3): 564-567.
- Gisbert-Aguilar, J. 1981. *Estudio Geológico-Petrológico del Stephaniense-Pérmico de la Sierra del Cadí (Pirineo de Lérida)*. *Diagénesis y sedimentología*. 314 pp. Tesis Doctoral (inéd). Fac. Ciencias, Universidad de Zaragoza.
- Innocent, C. and Briquieu, L., 1995. The origin of Pyrenean Hercynian volcanic rocks (France-Spain): REE and Sm-Nd isotope constraints - Comments. *Chemical Geology*, **121**: 295-297.
- Leat, P. T., Jackson, S. E., Thorpe, R. S. and Stillman, C.J. 1986. Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline/peralkaline rhyolite provinces within the Southern British Caledonides. *Jour. Geol. Soc. London*, **143**: 259-273.

-
- Le Maitre, R. W. (ed.) 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 193 pp. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Lofgren, G. 1971. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **82**: 111-124.
- Macdonald, R. 1974. Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks. *Bull. Volcanol.*, **38**: 498-516.
- Martí, J. 1986. *El vulcanisme explosiu tardihercinià del Pirineu català*. 304 pp. Tesis doctoral, Dept. Petrologia i Geoquímica, Universitat de Barcelona.
- Martí, J. 1991. Caldera-like structures related to Permo-Carboniferous volcanism of the Catalan Pyrenees (NE Spain). *Jour. Volcan. Geotherm. Res.*, **45**: 173-186.
- Martí, J. y Barrachina, A. 1986-87. Las ignimbritas de Castellar de N'Hug (Pirineo Catalán). *Acta Geológica Hispánica*, **21-22**: 561-568.
- Martí, J. y Mitjavila, J. 1987. Calderas volcánicas pasivas: un ejemplo en el Estefaniense del Pirineo Catalán. *Geogaceta*, **2**: 19-22.
- Martí, J. y Mitjavila, J. 1988. El volcanismo tardihercínico del Pirineo Catalán, II: caracterización de la actividad explosiva. *Acta Geológica Hispánica*, **23** (1): 21-31.
- Morre, N. et Thiébaud, J. 1964. Constitution de quelques roches volcaniques permiennes de la Sierra del Cadi (Pyrénées catalanes). *Bull. Soc. géol. France*, (7) **6**: 389-396.
- Morre, N. y Thiébaud, J. 1966. Contribución al estudio de las rocas volcánicas de Pérmicas de Pérmico y Trías inferior de los Pirineos. *Notas y Comms. I.G.M.E.*, **81**: 79-102.
- Nagtegal, P. J. C. 1969. Sedimentology, paleoclimatology and diagenesis of the post-hercynian continental deposits in the south-central Pyrenees, Spain. *Leidse geol. Medel.*, **42**: 143-238.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calco-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Miner. Petrol.*, **58**: 63-81.
- Puga, E. y Fontboté, J.M. 1979. Estudio petrológico de las rocas volcánicas del Pérmico de Gréixer (Pirineo catalán). *Acta Geológica Hispánica*, **14**: 80-89.
- San Miguel de la Cámara, M. 1934. Sobre una importante erupción riolítica entre el Coll de Pendís y el río de Greixa, vertiente sur de la Sierra del Cadí. *Pub. Junta Cièn. Nat. Barcelona*, **6** (8): 3-44, 9 fig., 18 láms.

- San Miguel de la Cámara, M. 1936. Estudio de las rocas eruptivas de España. *Mem. Acad. Cien. Exac. Fís. Nat. Madrid. (Cien. Nat.)*, **6**: 1-660 pp.
- Tourís, R. 1965. *Contribución al estudio de la colada riolítica de Greixa*. 26 pp., 1 mapa. Memoria (inéd.) Interna Dept. Geoquímica i Petrologia, Univ. Barcelona.
- Winchester, Y. and Floyd, P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**: 325-343.
- Winkler, H. G. F., Boese, M. and Marcopoulos, T. 1975. Low temperature granitic melts. *Njb. Miner. MH*: 245-268.

Lámina 1

Láminas delgadas de las muestras lávicas observadas a través de microscopio óptico. A) Fenocristal esquelético de cuarzo en textura bandeada de flujo magmático. Lámina UB 1158 (x5, nícoles cruzados). B) Fenocristal de cuarzo con evidencias de choque térmico. Lámina UB 2627 (x5, nícoles cruzados). C) Textura perlítica en lava vítrea. Lámina UB 2635 (x5, luz paralela). D) Textura vesicular confinada en bandas de flujo magmático. Lámina UB 2631 (x5, luz paralela). E) Textura bandeada de flujo magmático alrededor de un fenocristal. Nótese igualmente la presencia de texturas vesiculares y amigdalares (sector inferior de la foto) restringidas en el interior de una banda. Lámina UB 2643 (x5, luz paralela).

Plate 1

Thin-sections of lavic samples under the microscope. A) Skeletal phenocryst of quartz in banded texture generated by magmatic flow. Thin-section UB 1158 (x5, crossed polars). B) Quartz phenocryst showing evidences of thermal shock. Thin-section UB 2627 (x5, crossed polars). C) Perlitic texture in glassy lava. Thin-section UB 2635 (x5, plane-polarized light). D) Vesiculated, flow-banded, texture. Thin-section UB 2631 (x5, plane-polarized light). E) Flow-banded texture around phenocryst. Note also the presence of banded-confined vesicular and amigdaloid textures (see lower sector of the picture). Thin-section UB 2643 (x5, plane-polarized light).

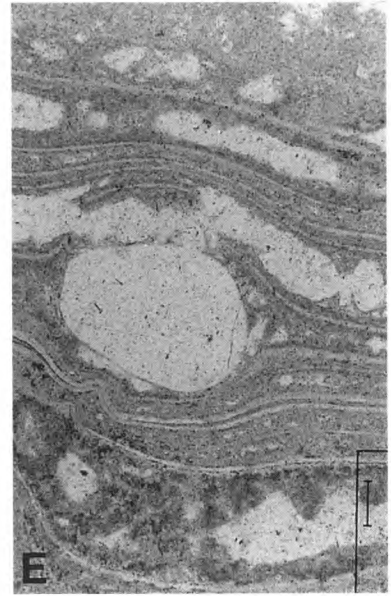
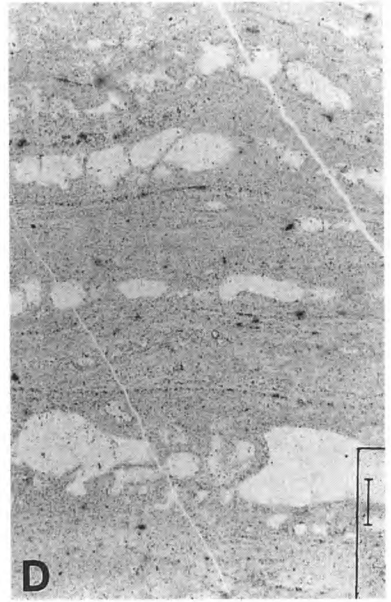
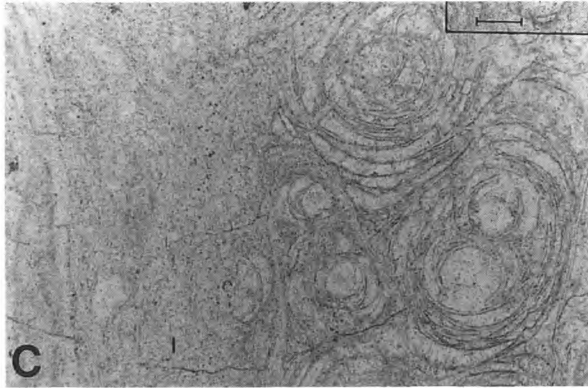
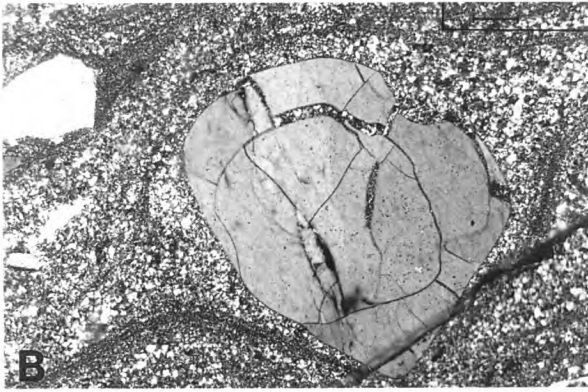
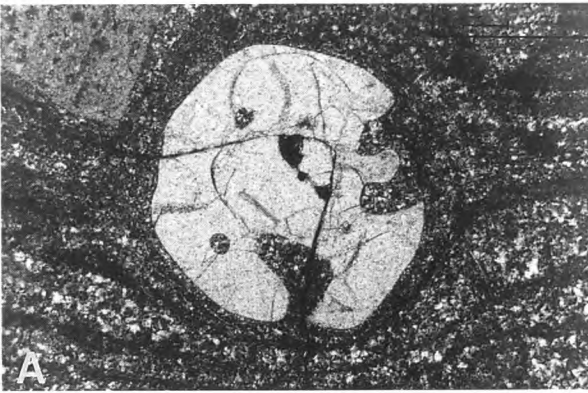


Lámina 2

Láminas delgadas de las muestras piroclásticas observadas a través de microscopio óptico. A) Muestra con fragmentos de pumita (toba vítrea), uno de ellos conteniendo un fenocristal (centro de la foto). Lámina MGB 2664 (x5, luz paralela). B) Toba rica en fragmentos de cristales. Lámina MGB 2668 (x2.5, luz paralela). C) Muestra con pumitas. Lámina MGB 2664 (x5, luz paralela). D) Muestra con *shards*. Lámina MGB 2643 (x5, luz paralela). E) Detalle de una espícula vítrea (*shard*) bien preservada en una toba vítrea (ahora totalmente desvitrificada). Lámina MGB 2644 (x10, luz paralela). Equivalencias de la barra de escala gráfica: x 2.5, 0.32 mm aprox.; x5, 0.16 mm aprox.; x10, 0.08 mm aprox.

Plate 2

Thin-sections of pyroclastic samples under the microscope. A) Sample with pumice fragments (glassy tuff), one of them containing a large phenocryst (center of the picture). Thin-section MGB 2664 (x5, plane-polarized light). B) Crystal-rich tuff. Thin-section MGB 2668 (x2.5, plane-polarized light). C) Glass-sample with pumice. Thin-section MGB 2664 (x5, plane-polarized light). D) Sample with shards, vitric fragments. Thin-section MGB 2643 (x5, plane-polarized light). E) Close-up of a well-preserved shard in glassy (now devitrified) tuff. Thin-section MGB 2644 (x10, plane-polarized light). Scale bar, the equivalences are: x 2.5, 0.32 mm aprox.; x5, 0.16 mm aprox.; x10, 0.08 mm aprox.

