

IV ESTUDIO PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICA DEL VOLCANISMO IGNIMBRÍTICO

a) Petrografía del volcanismo hiperalcalino

De un total de 58 secciones delgadas, las cuales incluyen rocas de todas las unidades encontradas en el área de estudio, se seleccionaron 35 láminas delgadas para determinar las características mineralógicas del evento ignimbrítico por medio de un microscopio petrográfico monocular marca Zeiss, del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

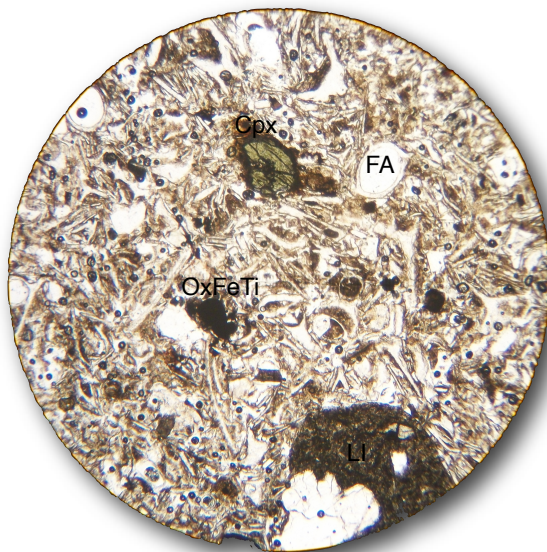


Fig. 23 Sección delgada de la muestra POR08-07AU, del Arroyo Portezuelo. Cpx; Clinopiroxeno verde. FA; Feldespato alcalino. OxFeTi; Óxidos de Hierro y Titanio. LI; Líticos. Vista en luz natural, aumento 25x.

Debido a la variedad de facies encontradas en la unidad eruptiva, las texturas cambian de acuerdo al nivel muestreado. A continuación se describen las 4 facies más representativas de los afloramientos en Cataviña; empezando por la facies inferior “*Base Surge*”, seguida del nivel soldado de base, la parte media y, finalmente, la facies de la cima.

Regularmente en la base de estos depósitos de corriente piroclástica densa, se observan facies de ‘*Ground Surge*’ (Fig. 23); las cuales son facies vitroclásticas muy cargadas en líticos que señalan el inicio del depósito en los afloramientos.

Esta facies, que muestra texturas vitroclásticas, es porfírica de clinopiroxeno verde de tipo ferro-hedenbergita, sanidina y fayalita. En ella se

pueden observar numerosos líticos de andesita porfírica de plagioclasa, así como xenocristales de anfíbol que fueron arrastrados del sustrato. En general, estos depósitos son de baja cristalinidad y llegan a tener hasta un 10% de cristales. La fase mineral predominante es el feldespato alcalino, que ocurre en fenocristales limpios, subautomorfos, no mayores a los 0.4 mm de diámetro. También, se observa una marcada asociación mineral con clinopiroxeno verde, que en ocasiones envuelve a óxidos de hierro y titanio (Fig. 23). Los olivinos férricos de tipo fayalita ocurren como cristales de color miel que se tornan rojizos por la oxidación.

Las secciones delgadas de la facies siguiente, que fue denominada nivel soldado de base, son representadas por las muestras de las mesas de San Agustín, El Chuco y Portezuelos (SA09-01C, SA09-11A, SA09-11B, MEC09-04, POR08-07BU). Estas muestran facies de texturas vitroclásticas de color café, que varían hasta eutaxíticas, que pudieran ser consideradas equivalentes a vitrófiros, sin embargo, su aspecto en muestra de mano no luce tan soldado. Estos vidrios son porfíricos de sanidina>clinopiroxeno>fayalita, algunos presentan microcristales de fayalita oxidados en la matriz. La gran abundancia de fayalita, zircones en la matriz y el bajo porcentaje de líticos es una característica en este nivel.

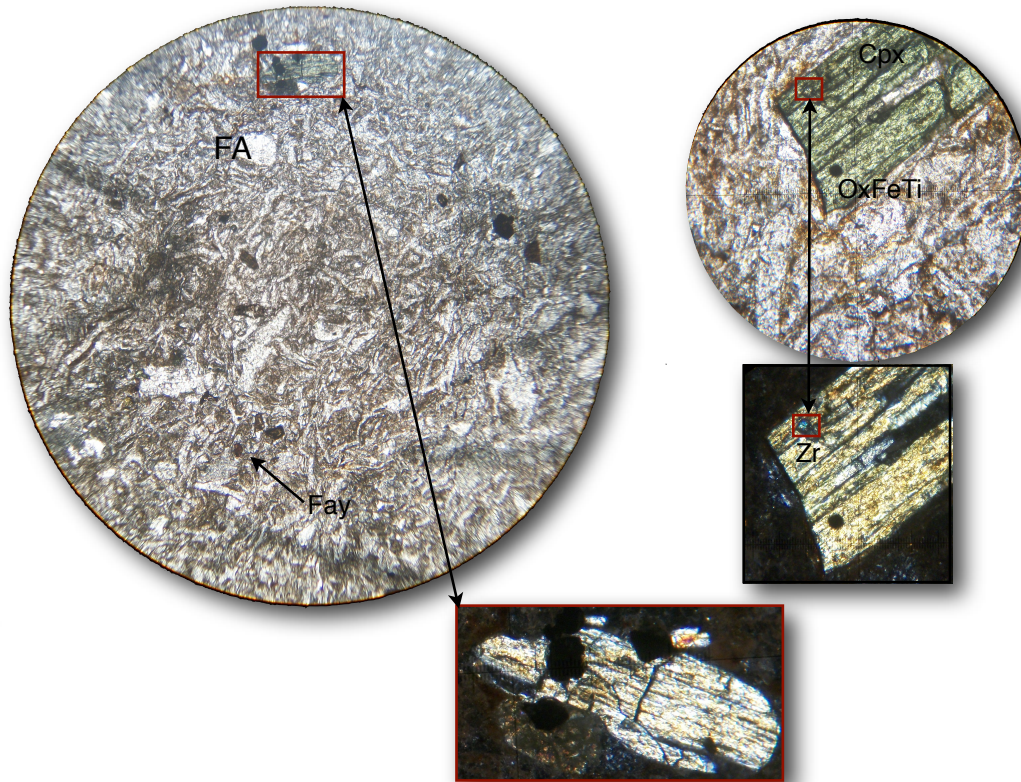


Fig. 24 Sección delgada representativa del nivel de base soldado, vitrófiro de la Mesa El Chuco (MEC09-04). Fay; Fayalita. Zr; Zircón. FA; Feldespato alcalino. OxFeTi; Óxidos de fierro y titanio. Cpx; Clinopiroxeno. Círculos; vista en luz natural, recuadros; luz polarizada, aumento de 25x.

La fase mineral predominante en este nivel, se caracteriza por la abundancia de fenocristales de feldespato alcalino, ocasionalmente automorfo y no mayor a 0.4 mm. También, es evidente una asociación mineral caracterizada por agrupaciones de clinopiroxeno con óxidos de FeTi y zircón (Fig. 24).

Las láminas delgadas más representativas de la parte soldada media de los depósitos, fueron obtenidas a partir de los afloramientos de las mesas San Agustín, Agua Dulce Y El Chuco (muestras SA09-05, SA09-12E y F, MAD09-01A, MEC09-01 A-B y C, MEC09-02). En estas muestras, al igual que las de los niveles anteriores se observa una textura porfírica dominada por la asociación de sanidina > clinopiroxeno > fayalita, siendo la fase mineral más representativa el feldespato alcalino que aumenta de tamaño (hasta 0.7 mm en este nivel). Sin embargo, resalta un nivel fluidal, altamente soldado, el cual es representado por la presencia de una textura eutaxítica y fiammes, así como, la presencia de

fayalita en los glómeros de Cpx-OxFeTi (Fig. 25), que denota una asociación mineral de ferromagnesianos anhidros. La presencia de zircones es moderada y la fayalita siempre se encuentra oxidada.

Además, en estas rocas se puede encontrar una amplia variedad de

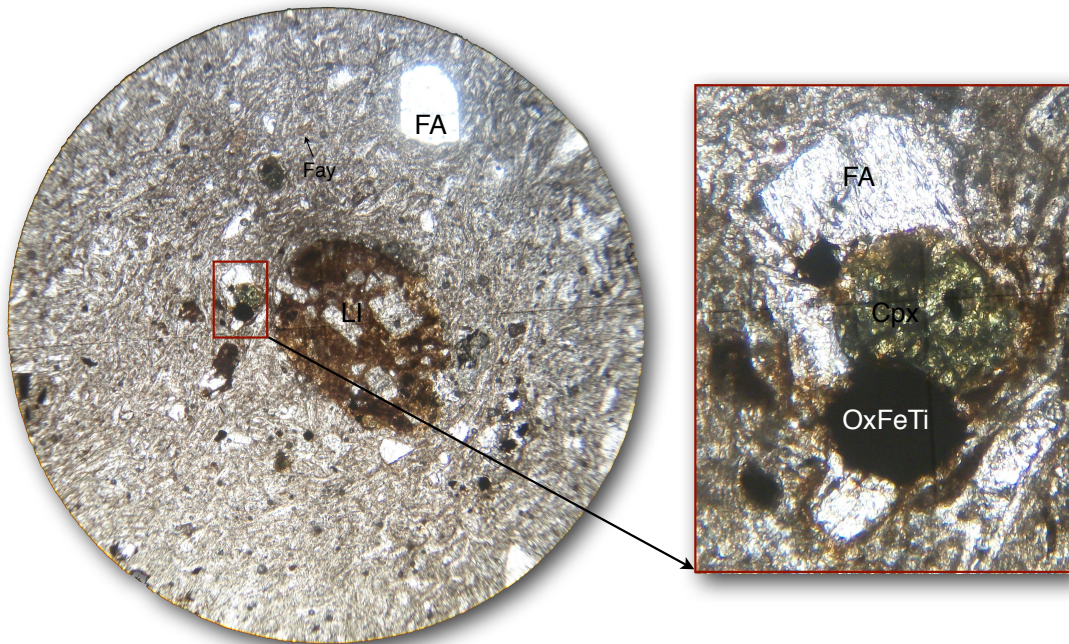


Fig. 25 Muestra SA09-05 de la Mesa Redonda; ignimbrita soldada parte media con líticos máficos del sustrato y asociación mineral FA-Cpx-OxFeTi. Vista en luz natural, aumento 25x.

fenocristales que entran dentro del grupo de xenocristales como plagioclasa, oxihornblenda y biotita. También incluyen líticos de rocas máficas porfíricas de plagioclasa.

Finalmente, la facies denominada nivel de cima, es representada en sección delgada por el conjunto de muestras de las mesas ignimbríticas EL Chuco, Portezuelos y Huerfanito (MEC09-03A, POR08-02U, POR08-03U, HUE08-02U). Las características principales de esta facies, además de su textura poco soldada con presencia de fiammes, son: a) un tamaño menor (<0.3 mm) de los fenocristales feldespató alcalino principalmente automorfos, b) Una marcada presencia de zircones y fayalita muy oxidada, c) Baja aparición de los

óxidos de hierro y titanio, d) Frecuencia de líticos del basamento (Fig. 26).

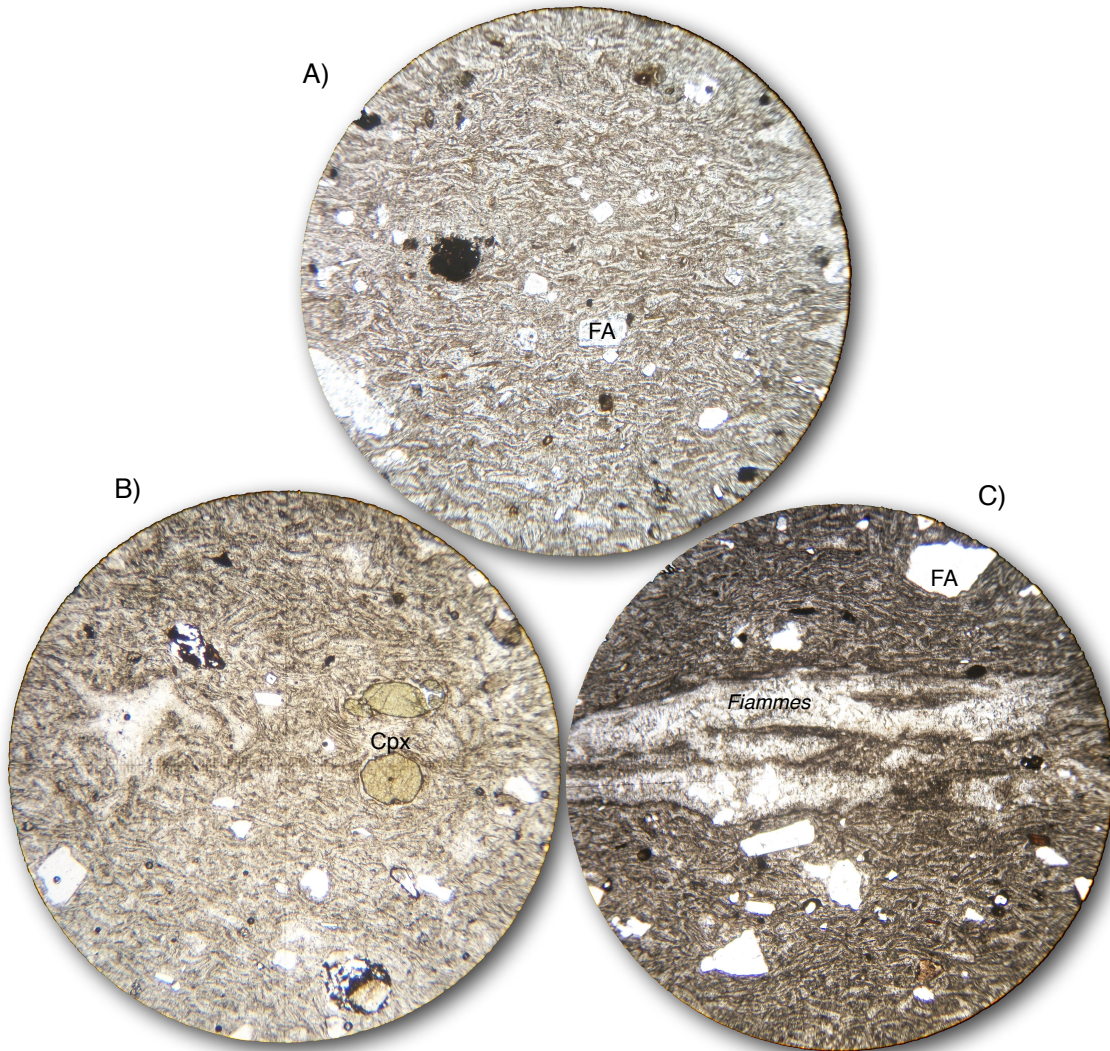


Fig. 26 A) Muestra MEC09-03A, de la Mesa El Chuco; ignimbrita poco soldada con cristales automorfos de sanidina. B) Fenocristales de Clinopiroxeno de la muestra POR08-02U del Arroyo Portezuelos; se observan algunos líticos máficos del basamento. C) Muestra POR08-02U, presencia de fiammes recristalizadas con cuarzo, algunos cristales automorfos de Sanidina y Fayalita en una matriz vitrea poco soldada. Cpx; Clinopiroxeno. FA; Feldespato alcalino. Fay; Fayalita.

b) Geoquímica del volcanismo hiperalcalino

Alrededor de 14 muestras representativas del área de estudio y 14 muestras de localidades cercanas fueron muestreadas y seleccionadas para la determinación de elementos mayores y traza. Se llevó a cabo una recolección sistematizada de las muestras, con el objetivo de obtener una cantidad suficiente de esquirlas de roca fresca, de tamaños de ~5 cm, representativas de la unidad litológica muestreada.

Dichas esquirlas fueron, posteriormente, trituradas por el molino de quijadas de acero inoxidable marca Braun Chipmunk, en el Laboratorio de Preparación de muestras del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Estación Regional del Noroeste (ERNO).

Una vez obtenida la gravilla, se procedió a la pulverización, que se efectuó en el Laboratorio de Preparación de Muestras del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, utilizando el molino centrífugo de bolas Retsch S100 (Fig. 27), el que cuenta con un contenedor y 13 canicas de ágata.



Fig. 27 Pulverizadora Retsch S100.

Los polvos obtenidos con el molino centrífugo Retsch S100, fueron enviados al laboratorio comercial ALS CHEMEX ubicado en Vancouver, Canadá, para su análisis con los equipos ICP-AES para los elementos mayores e ICP-MS para los traza.

Características de los óxidos mayores

Los resultados de óxidos mayores se presentan en la tabla 2. Estos fueron agrupados, de acuerdo a su edad y a las localidades de las muestras, de la siguiente manera: a) volcanismo Comondú, considerado a partir de las unidades

que afloran subyaciendo a la Ignimbrita Hiperalkalina; b) Ignimbrita Hiperalkalina de la región de Cataviña, incluyendo análisis de lapillis de pómez; c) Ignimbrita de la región de San Felipe, contemplando análisis de enclaves presentes. Todos los valores de los elementos mayores fueron recalculados al 100% en base anhidra para el estudio geoquímico.

Los análisis de la ignimbrita hiperalkalina en la región de Cataviña, comprenden tanto las facies basal (*base surge*), el nivel de base, el nivel medio, el nivel de cima, así como los lapillis de pómez encontradas dentro del depósito. Por otra parte, en la región de San Felipe, las muestras incluyen vitrófiros, una facies media y una de tipo “*base surge*”. Todas estas rocas son de composición riolítica, tienen altos valores de SiO₂ (mayores a 75%), son ricas en álcalis (8 a 11%, Fig. 28), con K₂O siempre superior al Na₂O y muestran bajos contenidos en Al₂O₃ (12%).

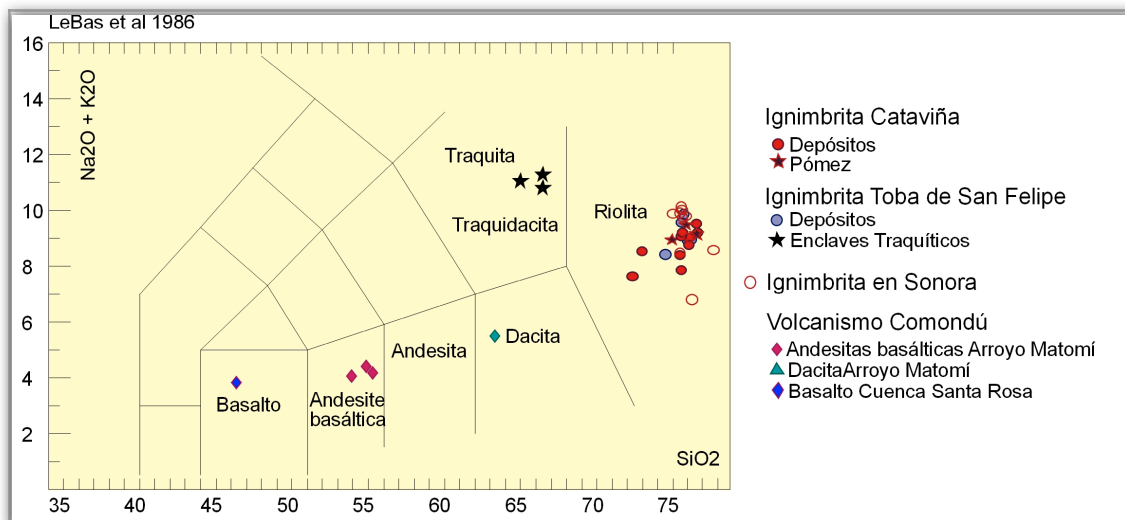


Fig. 28 Diagrama de álcalis vs SiO₂ (TAS, LeBas et al., 1986).

Los elementos como CaO, P₂O₅, MgO y TiO₂ siempre tienen valores muy bajos (<0.1) en estos depósitos. Los altos contenidos en hierro (de 1.9 a 2.2 % wt), clasifican a estas rocas, dentro del grupo de rocas hiperalkalinas, como comenditas (Fig. 29). Estas muestras se comportan químicamente de la misma

manera que las reportadas en Sonora (Ignimbrita de Hermosillo, Vidal-Solano et al., 2005) y Baja California (Toba de San Felipe, Stock et al., 1999).

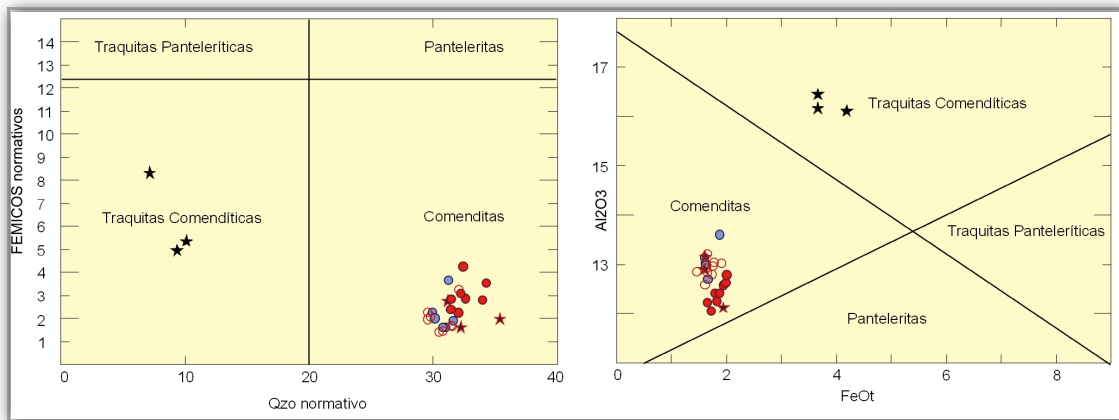


Fig. 29 Diagramas de clasificación para rocas hiperalcalinas. Izquierda Qzo normativo vs minerales ferromagnesianos normativos. Derecha FeO total vs Al₂O₃.

Los enclaves encontrados en las muestras de la ignimbrita de San Felipe, tienen valores de SiO₂ de alrededor de 67% y de 11 a 12% de álcalis (Fig. V.2.3), que los sitúan dentro del diagrama TAS en el campo de las traquidacitas, sin embargo, sus bajos valores de cuarzo normativo (<20%) los clasifican como verdaderas traquitas. Estas rocas, muestran además una afinidad hiperalcalina con altos contenidos de hierro y una gran cantidad de minerales ferromagnesianos normativos, que las clasifican como traquitas comendíticas (Fig. 29).

Las rocas que subyacen al evento ignimbrítico, han sido asociadas con al volcanismo del Arco Comondú. Estas lavas, de acuerdo a la nomenclatura establecida en el diagrama TAS, varían desde basalto, andesita basáltica, hasta dacita. Contienen altos valores de MgO con respecto a los de Fe₂O₃, generando un número de Mg (#Mg) de hasta 75 considerado como alto. Estas rocas tan variadas tienen otros rasgos químicos como son: a) Su bajo valor en K₂O (menores a 2.5%), b) Algunas lavas con cuarzo, diópsida e hiperstena normativa mostrando una tendencia a la sobre saturación en sílice; y C) la presencia de nefelina y olivino normativo que imprime un carácter subsaturado a estas rocas (basalto con clave CSR08-01U).

Los rasgos químicos de las rocas anteriores, han sido recientemente reportados, en trabajos sobre la geoquímica de las lavas miocénicas en la región de Cataviña-Jaraguay en Baja California (Pallares et al., 2008). Estos han sido adjudicados principalmente a dos tipos de lavas, consideradas como andesitas magnesianas (bajaitas) y adakitas. Las rocas aquí estudiadas, corresponderían a las manifestaciones más antiguas, hasta ahora reportadas, de este magmatismo, considerando que se encuentran debajo de la Ignimbrita hiperalcalina de aprox. 12 Ma.

Resultados de elementos traza

La facies de “*base surge*” del volcanismo hiperalcalino en la región de Cataviña, se caracterizan por los valores más altos en Rb (130-170 ppm), Sr (55-98 ppm) y Zr (~300 ppm), comparadas con las demás facies. Dos muestras de San Agustín y una del Arroyo Portezuelos concentran altos contenidos de Ba (~150 ppm) mientras que el comportamiento observado para el resto se mantiene en <100 ppm de Ba. En el nivel de base, la parte media y la cima de la ignimbrita, se observa el mismo comportamiento y, resalta una disminución progresiva de los valores de Sr, desde 51 ppm hasta un bajo valor de 20 ppm para la muestra JUN08-03U.

Las pómez encontradas en la Ignimbrita Hiperalcalina, albergan algunas características contrastantes con respecto a las facies del depósito, como son altos contenidos de Rb de hasta 200 ppm y muy bajos contenidos de Sr (20 ppm), con valores Ba entre 30 y 103 ppm. Estos rasgos son más similares a las concentraciones de elementos trazas que se presentan en la Toba de San Felipe y en la Ignimbrita en la región de Sonora.

Los espectros de tierras raras obtenidos de la normalización contra condrita

(Sun y Mcdonough, 1989) de las ignimbritas de San Felipe, Sonora y Cataviña, incluyendo a las pómez analizadas, muestran un fuerte enriquecimiento en tierras raras ligeras, una marcada anomalía negativa en europio y una tendencia plana en las tierras raras pesadas.

Las ignimbritas y las pómez graficadas en el diagrama multielemental normalizado con manto primitivo, presentan espectros muy similares entre si, con enriquecimiento de elementos incompatibles, y un patrón irregular característico, marcado por pronunciadas anomalías negativas en Ba, Sr, P y Ti, que sugieren un acentuado proceso de fraccionamiento de feldespatos y ferromagnesianos.

Los enclaves traquíticos encontrados en la Toba de San Felipe, conservan el mismo espectro que las ignimbritas, pero con un grado menor de enriquecimiento y con anomalías negativas menos pronunciadas (FIG. 30). Estos rasgos indican, por un lado, una perfecta relación cogenética entre comenditas y traquitas comendíticas y, por otro lado, la presencia de términos menos diferenciados en estos magmas anorogénicos.

ESTUDIO FÍSICO Y QUÍMICO DEL VOLCANISMO HIPERALCALINO EN LA REGIÓN DE CATAVIÑA, BAJA CALIFORNIA.

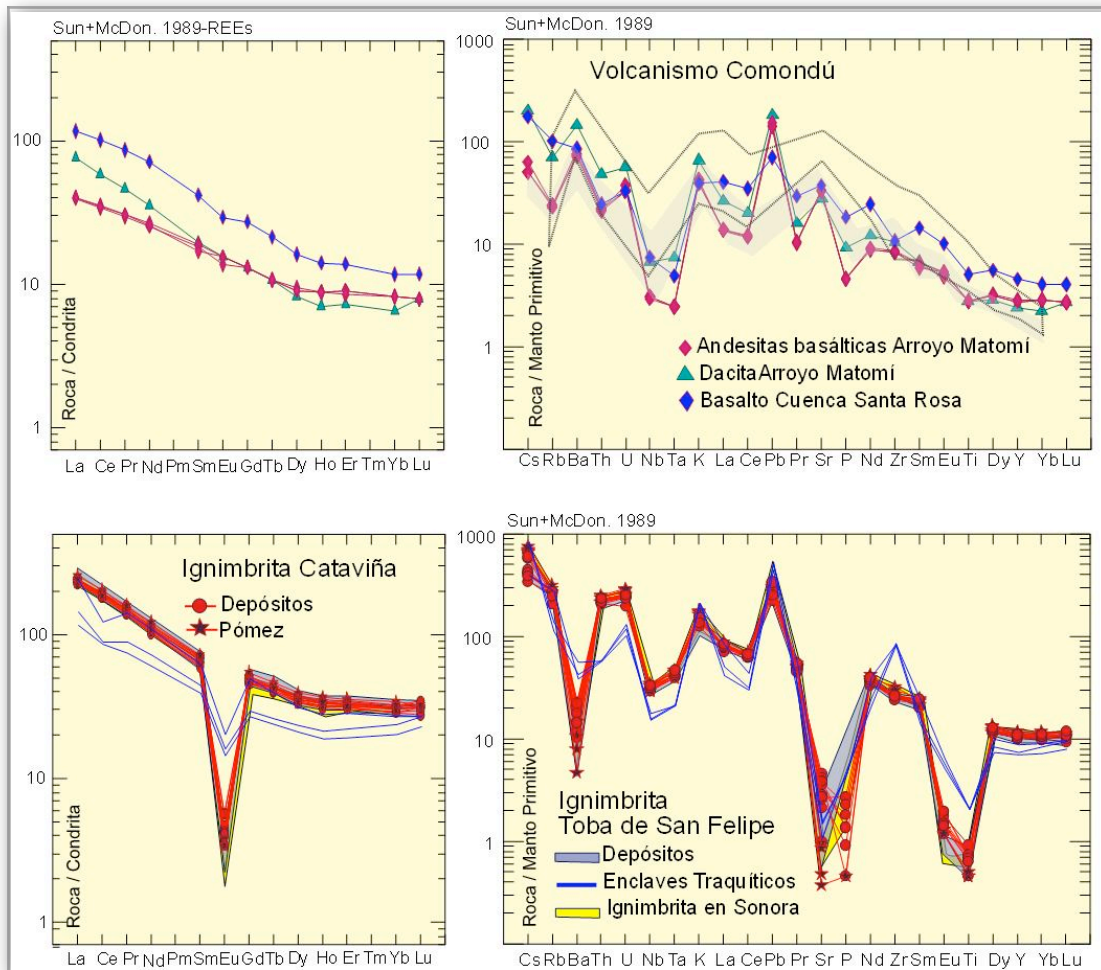


Fig. 30 Geoquímica del volcanismo de Cataviña, algunos depósitos en San Felipe y las muestras de Sonora para comparación. Normalizador Roca/Condrita y Roca/Manto Primitivo de Sun y McDonough, 1989.

Las lavas encontradas en el arroyo Matomí, son consideradas como parte del volcanismo de arco Comondú. Los espectros de estas rocas muestran espectros de tierras raras enriquecidos en tierras Raras ligeras y firmas de afinidad adakítica, con bajos valores de Tierras Raras Pesadas (en particular de Y que varía ~11-20 ppm). Anomalías negativas en Nb-Ta y positivas en Sr, Ba y Pb caracterizan a estas lavas en los espectros multi-elementales, las características de adakitas y andesitas magnesianas han sido bien definidas por Pallares et al. (2008).

Con el fin de discriminar químicamente los depósitos ignimbríticos de Cataviña de los de San Felipe y de Sonora, se crearon diagramas ternarios

utilizando los elementos traza incompatibles mejor representados en estas rocas. Los elementos comprendidos en estos diagramas son algunos de los denominados HFS con propiedades inmóviles: Nb, Y, Zr, Th, La, Hf, Ti y, elementos incompatibles móviles de tipo LILE: Ba y Sr. En los diagramas de la Fig. 31 se observa: 1) Una agrupación de los valores en dos sectores, uno que concentra a las rocas de la región de Cataviña y otro que asocia a las muestras de la Toba de San Felipe, con las pómez que ocurren dentro de los depósitos de Cataviña; 2) La muestra JUN08-03U de Cataviña, proveniente del afloramiento más cercano a la región de San Felipe, presenta concentraciones que caen dentro del grupo de la Ignimbrita de San Felipe. Por el contrario, sólo una muestra (AM08-01B) correspondiente a un vitrófiro de la región de San Felipe, cae dentro del grupo de las muestras de Cataviña, mostrando una liga entre ambas regiones; 3) Las muestras de la región de Sonora se distribuyen de manera homogénea entre los dos grupos anteriores hasta agruparse con las de San Felipe; 4) Las rocas de San Felipe y las pómez de Cataviña presentan valores más elevados en todos los elementos HFS; 5) Los depósitos de Cataviña tienen una concentración mayor de Sr y Ba, comparado con pómez encontradas en ellas, y que las muestras de la Toba de San Felipe; pudiendo representar una posible incorporación de xenocristales en el emplazamiento del flujo piroclástico, tal y como se mostró en la petrografía. Además, este fenómeno es más evidente en las facies inferiores de los depósitos.

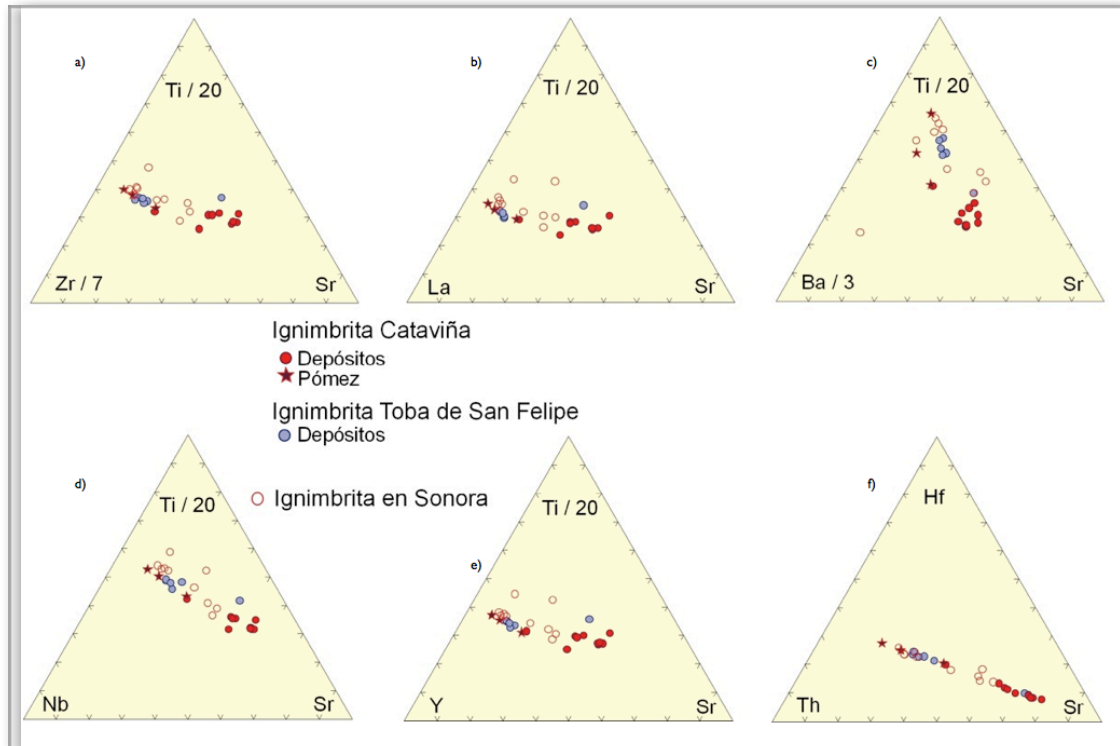


Fig. 31 Diagramas discriminatorios de tres polos. Con componentes HFSE y LILE.

c) Geocronología ^{40}Ar - ^{39}Ar en una pómez de la Ignimbrita de Cataviña

Para la determinación de la edad de los depósitos de la Ignimbrita Hiperalcalina en el NW de México, se han aplicado diversos métodos geocronológicos. Dentro de los más comunes destacan K-Ar y Ar-Ar, tanto en roca total como en sanidina, y U-Pb en zircón. Estos han determinado con precisión distintas edades, todas comprendidas, dentro del Mioceno medio y que, aunadas a la gran similitud en mineralogía y composición química en todos los depósitos, apoya fuertemente una correlación litológica desde el pie de la Sierra Madre Occidental en Sonora, hasta el norte y centro de Baja California.

La integración de todas las determinaciones geocronológicas hasta ahora reportadas en la literatura para esta unidad, conforma (relativamente) un amplio rango de edades, que varía desde 11.6 hasta 12.8 Ma, haciendo difícil la

distinción de grupos.

Gómez-Valencia et al. (2008b), realizaron la medición isotópica de argón en la muestra JUN08-02U (Fig. 32) dentro de la localidad Arroyo El Junco (correspondiente a la porción NE

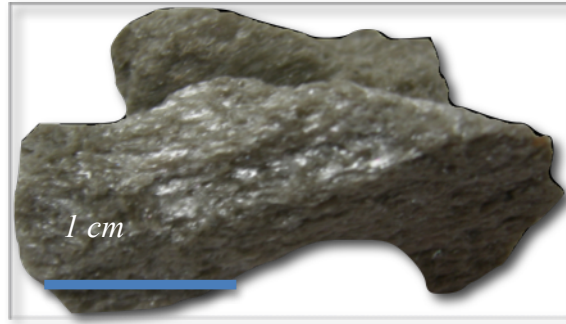


FIG. 32 Pómez riolítica del Arroyo el Junco.

de la carta geológica San Simón presentada en esta tesis), tomada de la Ignimbrita Hiperalkalina en su litofacies basal, no soldada, (Gómez-Valencia et al., 2008a). Se trata de una riolita poco porfírica de feldespatos alcalinos, muy fresca y libre de amígdalas.

Posteriormente se realizó el triturado y la limpieza manual de la muestra siguiendo la metodología del Laboratorio de Geocronología del CICESE (Cerca-Martínez et al., 2000). Para este tipo de análisis la muestra requiere de irradiación, para ello se mandó a irradiación en el reactor de investigación de la Universidad de McMaster en Canadá. La medición isotópica de Argón se realizó en el Laboratorio de Geocronología del CICESE con un espectrómetro de masas MS-10.

A pesar de su constitución vítrea, por lo general, los materiales pumíceos son malos geocronómetros por el método ^{40}Ar - ^{39}Ar . Eso se debe, en parte, al alto grado de microvesicularidad presente en estos materiales, que puede dar cabida a minerales secundarios y a una serie de gases dentro de los cuales puede existir una alta concentración de argón atmosférico. Considerando lo mencionado, se considera que Gómez-Valencia et al. (2008b), obtuvieron una buena estimación de edad para la pómez hiperalkalina JUN08-02U, presentando una edad de $11.9 \pm 0.2 \text{ Ma}$ (Fig. 33), la cual resultó ser un poco más joven que la mayoría de los valores geocronológicos reportados. Esta edad se asemeja mucho a una edad de $11.99 \pm 0.5 \text{ Ma}$, reportada para la Toba de San Felipe (al

norte de Cataviña en la región sur de Valle Chico) obtenida a partir de una sanidina por el método de K/Ar (Stock, 1989 y Stock et al., 1999). Nuevos experimentos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ realizados en la Toba de San Felipe incluyeron 41 fenocristales de sanidina provenientes de los enclaves de traquitas comendíticas (Vidal-Solano et al., 2008b).

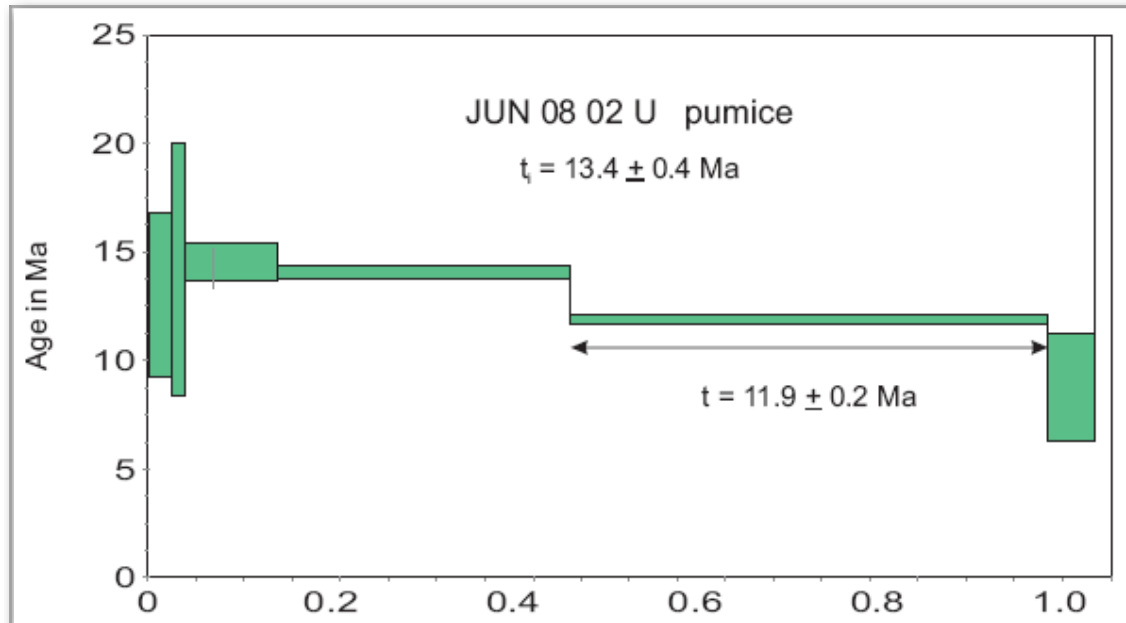


Fig. 33 Edad de meseta obtenida para la muestra JUN08-02U en pómez.

Estos datos muestran, que las edades de las sanidinas, tanto en las inclusiones como en la ignimbrita, presentan una variación de 11.6 a 13.9 Ma. Dentro de este rango, se pueden diferenciar con frecuencia tres conjuntos, dos con promedio de 12.35 y 12.71 Ma, principalmente derivados de las sanidinas y, finalmente, uno más joven, con promedio de 11.93 Ma, generado a partir de la mayoría de los cristales en los enclaves traquíticos. Este resultado, que ha sido interpretado, como derivado de la inyección de un líquido traquítico en un reservorio comendítico con alta residencia y fraccionamiento, es concordante con los valores obtenidos en el experimento de la pómez, sugiriendo que la edad de la erupción es probablemente más joven de 12 Ma. Finalmente, otro dato, que se suma a estas conclusiones, proviene de una edad de 11.8 Ma \pm 0.2 Ma establecida por el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en sanidinas, para una ignimbrita

paleomagnéticamente correlacionable con la Toba de San Felipe y, ubicada en la Isla Angel de la Guarda (Stock et al., 2008).