

Geoidentidad magmática de la provincia del Rift del Río Grande en Chihuahua, México

CASANDRA MAYLEE MORENO GARCÍA¹ JESÚS ROBERTO VIDAL-SOLANO², LUIS ALONSO VELDERRAIN ROJAS³, LUIS ARTURO TERÁN ORTEGA⁴, JOSÉ ALEJANDRO JIMÉNEZ GONZAGA⁵

RESUMEN

El margen occidental mexicano se ha caracterizado por la instalación episódica de sistemas de subducción, como el que ocurrió en el periodo Cretácico superior-Cenozoico. Estos sistemas dieron lugar a actividad volcánica principalmente intermedia a ácida en el NW de México (por ejemplo, la provincia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental). Sin embargo, el análisis de una base de datos geoquímicos (elementos mayores y traza) para vulcanismo félsico (SiO_2 ajustado, $x \geq 62$ %) expuesto en el estado de Chihuahua durante el periodo del Eoceno tardío-Oligoceno ha revelado la existencia de litologías con una afinidad a ambientes de extensión, que representan el mayor porcentaje (68 %) de las muestras obtenidas en esta base de datos. Este vulcanismo podría representar una continuación de la actividad asociada al rift del Río Grande del SW de EUA.

Palabras clave: Volcanismo Silícico, Rift del Río Grande, Sierra Madre Occidental, Riolitas hiperalcalinas.

¹Geóloga, Maestría en Ciencias-Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, a217210663@unison.mx, ORCID <https://orcid.org/0009-0008-4459-0416>

²Dr. en Petrología Magmática, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, Roberto.vidal@unison.mx, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5927-4215>.

³Dr. en Petro-tectónica y paleomagnetismo, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, Luis.velderrain@unson.mx, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9635-4027>.

⁴Geólogo, Luis Arturo Terán Ortega, Gerencia Norte, Servicio Geológico Mexicano, Chihuahua, Chihuahua, México, luisteran@sgm.gob.mx.

⁵Geólogo, José Alejandro Jiménez Gonzaga, Gerencia Norte, Servicio Geológico Mexicano, Chihuahua, Chihuahua, México, josejimenez@sgm.gob.mx

Autor de Correspondencia: Jesús Roberto Vidal-Solano, roberto.vidal@unison.mx

Recibido: 29 / 11 / 2023

Aceptado: 09 / 09 / 2024

Publicado: 02 / 10 / 2024

Cómo citar este artículo:

Moreno-García, C. M., Vidal-Solano, J. R., Velderrain-Rojas, L. A., Terán-Ortega, L. A., & Jiménez-Gonzaga, J. A. (2024). Geoidentidad magmática de la provincia del Rift del Río Grande en Chihuahua, México. *EPISTEMUS*, 18(36). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i36.352>

Magmatic geoidentity of the Rio Grande Rift Province in Chihuahua, Mexico

ABSTRACT

The western Mexican margin has been characterized by the episodic installation of subduction systems, such as in the late Cretaceous-Cenozoic time. These systems gave place to mainly intermediate to acidic volcanic activity in NW Mexico (e.g., the Sierra Madre Occidental ignimbrite province). However, the analysis of a geochemical database (major and trace elements) for felsic volcanism (adjusted SiO₂, x ≥ 62%) exposed in the state of Chihuahua during the late Eocene-Oligocene period has revealed the existence of lithologies with an affinity to extensional environments that account for the largest percentage (68 %) of the obtained samples in this database. This volcanism could represent a continuation of the activity associated with the Rio Grande rift of the SW in the USA.

Key words: *Silicic Volcanism, Rio Grande Rift, Sierra Madre Occidental, Peralkaline Rhyolites.*





Introducción

El Noroeste de México ha sido afectado desde el Cretácico superior y el Cenozoico por una variación en las condiciones tectónicas regionales que involucran la transición de un ambiente de arco continental a uno de tipo extensional. Donde como producto se formó una de las provincias silíceas más importantes del mundo, conocida como la Sierra Madre Occidental (SMO; Figura 1) [1]. Ferrari et al. [1] señalaron que esta provincia magmática fue el producto de varios episodios relacionados a la subducción de la placa Farallón y la apertura del Golfo de California. Estos autores reconocieron cinco conjuntos ígneos: (a) rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico superior-Paleoceno, (b) rocas andesíticas y, de forma limitada, dacitas-riolitas del Eoceno, (c) ignimbritas silíceas del Oligoceno temprano (32-28 Ma) y el Mioceno (24-20 Ma), (d) coladas basáltico-andesíticas transicionales, posteriores a cada pulso ignimbrítico, (e) vulcanismo post-subducción consistente en basaltos alcalinos e ignimbritas del Mioceno tardío, Plioceno y Cuaternario.

En el estado de Chihuahua, las manifestaciones volcánicas de mayor exposición son de composiciones geoquímicas ácidas (>62 % en peso de SiO₂; Figura 1), generadas a través de varios pulsos magmáticos desde los 46 a los 27 Ma, que derivaron en lavas de composición riolítica y depósitos ignimbríticos [1]. Estas unidades félsicas son consideradas mayormente como parte del magmatismo orogénico que generó principalmente a las rocas de afinidad calcoalcalina de la SMO [2]. Ejemplares de estas riolitas fueron identificadas en la región de Batopilas, Chihuahua. Petrológicamente, son divididas por Cameron et al. [3] en dos tipos. El primero, con



K₂O moderado (2.5-4.5 de K₂O para rocas con 70 % de SiO₂ en peso), se caracteriza por presentar una mineralogía de clinopiroxeno > ortopiroxeno, ambos ricos en Mg y fenocristales de plagioclasa, y solo las rocas con contenidos de SiO₂, mayores a 75 % en peso, contienen biotita y hornblenda. El segundo tipo se trata de rocas de K₂O alto (4.5-5.5 % en peso y 70% SiO₂), que presentan fenocristales de feldespato potásico, anfíbol, biotita y dos piroxenos, tanto en las variedades riolíticas, como dacíticas [3]. Magonthier [4] reporta a este tipo de unidades en la parte central de SMO y las reconoce como *riolitas de biotita* con edades K-Ar en Feldespato, que van desde los 36 a los 34 Ma. La mineralogía de ferromagnesianos hidratados en estas unidades, ha sido estereotipada para el volcanismo félsico orogénico de la SMO en el estado de Chihuahua [2], [3], [4].

Por otro lado, se ha reportado la ocurrencia de unidades volcánicas ricas en sílice, pero de un origen de rift, contemporáneas al volcanismo de la SMO. Estas rocas anorogénicas son relacionadas al desarrollo de un adelgazamiento cortical en continente dentro de la región del estado de Texas y al noreste de Chihuahua (Figura 1) [2], [4]. Las rocas félsicas derivadas de este evento tectonomagmático se caracterizan por una asociación mineralógica sin ferromagnesianos hidratados (sanidina + egirina + fayalita). Así como lo reporta Cameron [3] para el grupo de riolitas, que genéticamente se diferencian de las típicas riolitas calcoalcalinas de la SMO, y que son contemporáneas entre sí. Estas rocas se distribuyen sobre la provincia del Basin and Range, al Este del altiplano ignimbrítico de la SMO, donde se describen como un conjunto riolítico de ferroaugita, caracterizado por la presencia de clinopiroxeno rico en Fe (augita), fayalita y como feldespato característico la variedad sanidina. Este grupo riolítico, presenta altas proporciones





molares de $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$, que varían en un rango de 0.89 a 1.03, lo que es significativamente diferente a la proporción en las riolitas calcoalcalinas, que suelen tener bajos valores ($x < 0.9$). Mientras que el contenido de Y, Zr y Pb es mayor que en las riolitas de ferroaugita, y poseen menores valores de Sr [3]. Otras unidades son reconocidas a lo largo del borde oriental de la SMO bajo esa misma asociación mineralógica por Magonthier [4] y nombradas como riolitas de fayalita. Se ha propuesto que esas riolitas, que fueron fechadas entre 31.5 y 28 Ma (K-Ar en feldespato alcalino), podrían ser resultado de un magmatismo relacionado con la extensión en un entorno de retroarco [4]. Bajo esas características, Magonthier y Cameron [3], [4] establecen una relación entre las riolitas de ferroaugita con las rocas alcalinas silícicas del Terciario medio desarrolladas en el oeste de Texas, que son descritas como parte de la provincia volcánica del Trans-Pecos [5]. Este tipo de rocas silícicas, de química y mineralogía peculiar, han sido bien documentadas a lo largo del Rift del Río Grande (RRG) [5], que se distribuye en por al menos 600 km, desde los estados de Colorado, pasando por Nuevo México y Texas en EUA, hasta el estado de Chihuahua en México [6].

En Chihuahua ya existen estudios que reportan a estas unidades, principalmente en la frontera con EUA. Sin embargo, hasta la fecha no se tiene un registro definido de su distribución espacial en otras localidades del estado y de su relación con la Provincia Magmática del Rift de Río Grande (PMRRG). En consecuencia, la mayor parte de las rocas volcánicas silícicas anteriormente estudiadas en Chihuahua solo han sido asociadas al volcanismo de la SMO. De esta manera, derivado de una importante recopilación de datos geoquímicos, mineralógicos y geocronológicos



disponibles para las rocas félsicas del Eoceno Tardío-Oligoceno (38 -23 Ma, mayormente por el método K-Ar en feldespato alcalino) en el estado de Chihuahua, obtenida a partir de tesis de licenciatura realizadas en el marco de un reciente proyecto investigación [7], [8], el presente trabajo presenta una caracterización y una distinción petrológica, que permite el establecimiento y la distribución de las unidades magmáticas asociadas aquí a la PMRRG.

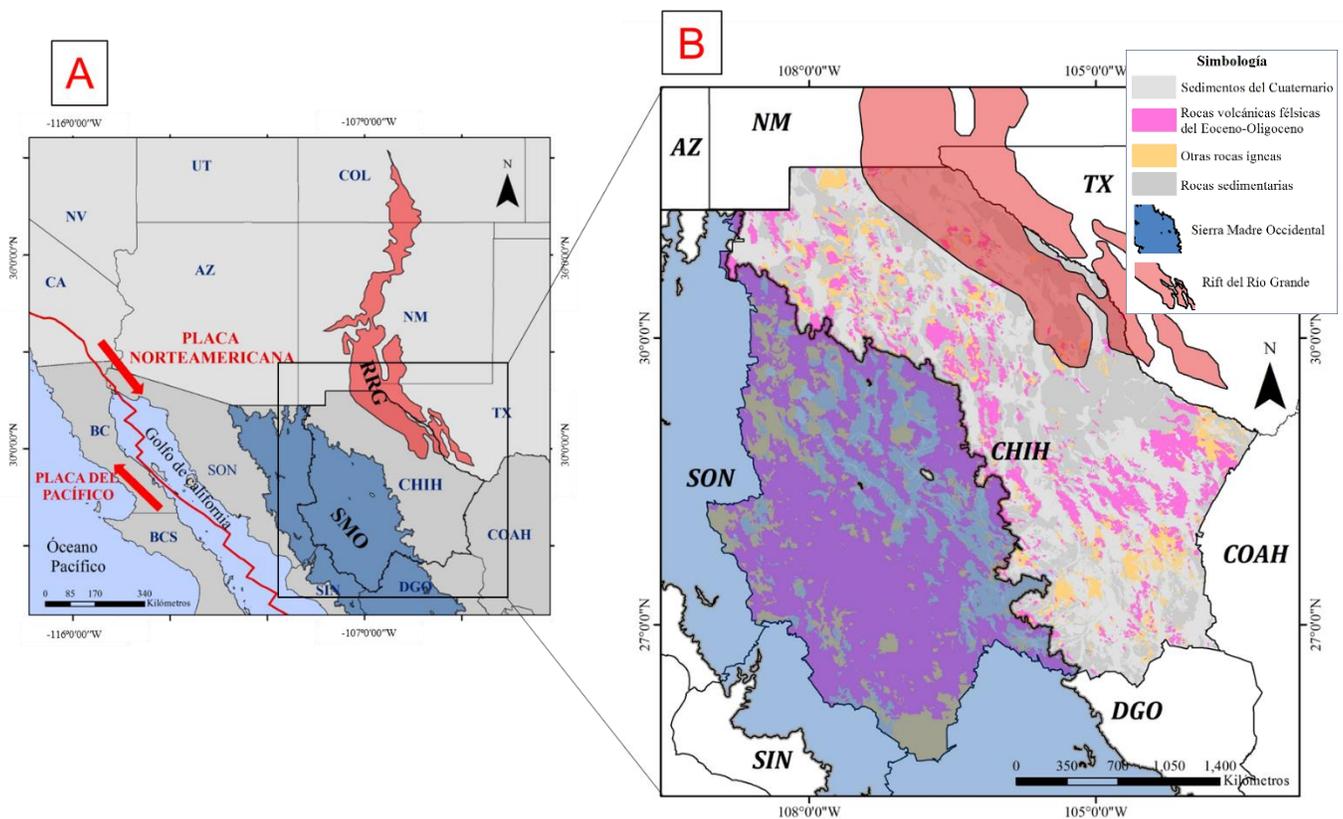


Figura 1. (A) Mapa regional del norte de México y del SW de EUA. (B) Mapa geológico regional del Estado de Chihuahua que muestra la distribución de las rocas volcánicas de composición félsica de edad Eoceno-Oligoceno. La cartografía de las litologías fue obtenida de las cartas geológicas, a escala 1:250 000 recopiladas del sitio GeoInfoMex del Servicio Geológico Mexicano [9]. La provincia de la Sierra Madre Occidental se obtuvo del Sitio del INEGI [10]. La delimitación



del Rift del Río Grande corresponde a los sedimentos plio-cuaternarios asociados a este rift [11]. *Otras rocas ígneas* se refiere a rocas de cualquier otra edad o composición a la de interés. **BC**: Baja California, **BCS**: Baja California Sur, **SON**: Sonora, **SIN**: Sinaloa, **DGO**: Durango, **COAH**: Coahuila, **TX**: Texas, **NM**: Nuevo México, **COL**: Colorado, **AZ**: Arizona, **UT**: Utah, **NV**: Nevada, **CA**: California **RRG**: Rift del Río Grande (sedimentos asociados), **SMO**: Sierra Madre Occidental.

Metodología

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo mediante la recopilación de datos de rocas félsicas (contenidos de SiO₂ normalizados en base anhidra, $X \geq 62\%$) reportadas para el estado de Chihuahua, que contaran con alguna información geoquímica de elementos mayores, traza y Tierras Raras (REE), información mineralógica y ubicación geográfica. Se estableció un rango de la edad de interés para el Eoceno tardío-Oligoceno (38-23 Ma), tomando como una referencia al volcanismo félsico en la provincia magmática del Trans-Pecos, que ocurre desde los 37 a los 30 Ma.

Las plataformas de acceso abierto utilizadas consistieron en: a) GeolInfoMex del Servicio Geológico Mexicano [9], donde se obtuvieron las cartas geológicas mineras a escala 1:50000 y escala 1:25000, con sus respectivos informes técnicos; b) “*The North American Volcanic and Intrusive Rock Database (NAVDAT)* [12] y c) *Geochemistry of Rocks of the Oceans and Continents (GEOROC)* [13], donde se descargaron los datos del estado de Chihuahua, con las edades de interés; finalmente, d) *Catalog of the Greater American Southwest archaeological obsidian sources* [14], donde se obtuvo una recopilación de muestras asociadas a yacimientos de obsidiana

arqueológica, considerando a los datos de los yacimientos que geográficamente se reportan dentro del estado de Chihuahua.

Una vez obtenida esta información, se elaboró una base de datos en Excel, en la que se organizó toda la información de las muestras. Se incluyeron encabezados como el nombre de la muestra, nombre de la roca, coordenadas, tipo de roca, edad, las columnas de elementos mayores, traza y REE, etc. Después de tener la base de datos, se procedió a analizar el comportamiento de las muestras, tomando los diferentes comportamientos geoquímicos y mineralógicos en relación con la ubicación. Los programas utilizados para considerar los aspectos de distribución geográfica y elaboración de mapas fueron ESRI ArcGIS y Google Earth. Mientras que la visualización del comportamiento geoquímico se hizo a través del software IGPET. Es importante mencionar que todos los datos de elementos mayores se normalizaron al 100% en base anhidra para realizar los diagramas geoquímicos.

Después del procesamiento de los datos, como parte de la metodología para la distinción de los rasgos petrológicos por medio de información geoquímica y mineralógica, se ubicaron muestras félsicas del volcanismo orogénico de la SMO. El comportamiento de esas muestras resultó luego de considerar a las rocas reportadas como riolitas de biotita [4] y riolitas de Batopilas [2] (riolitas calcoalcalinas). Lo anterior se realizó con el fin de comparar en la base de datos y distinguir mediante los diferentes diagramas geoquímicos las muestras con un comportamiento distinto. Además, otras rocas reportadas como riolitas de fayalita también se utilizaron como una referencia para observar una tendencia del volcanismo anhidro asociado a un ambiente extensional [4]. La clasificación y caracterización geoquímica se basó en la utilización de los siguientes diagramas:



1) TAS de Le Bas et al. [20]; 2) diagrama Spider normalizado a MORB según Pearce [18]; 3) diagrama de tierras raras normalizado a condrita, propuesto por Sun y McDonough [19]; 4) diagramas de variación de elementos mayores en función del sílice ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 y CaO vs SiO_2); 5) diagrama de discriminación SiO_2 vs $\text{Fe}^* \left(\frac{\text{FeO}}{\text{FeO}+\text{MgO}} \right)$ de Frost y Frost [8].

Resultados y discusiones

Como resultado de la recopilación de datos del estado de Chihuahua, se obtuvo una base de datos con alrededor de 230 muestras de rocas volcánicas ricas en sílice, con edades entre 38-23 Ma. Así, mediante la información geográfica, geocronológica, geoquímica y mineralógica, fue posible analizar el comportamiento petrológico de estas unidades volcánicas.

En función de la distribución geográfica, se agruparon las muestras en siete zonas para facilitar el manejo de los datos de las muestras. Estas zonas se nombraron como grupo A (36 muestras, B (32 muestras), C (5 muestras), D (60 muestras), E (6 muestras), F (58 muestras) y G (19 muestras; Figura 2).

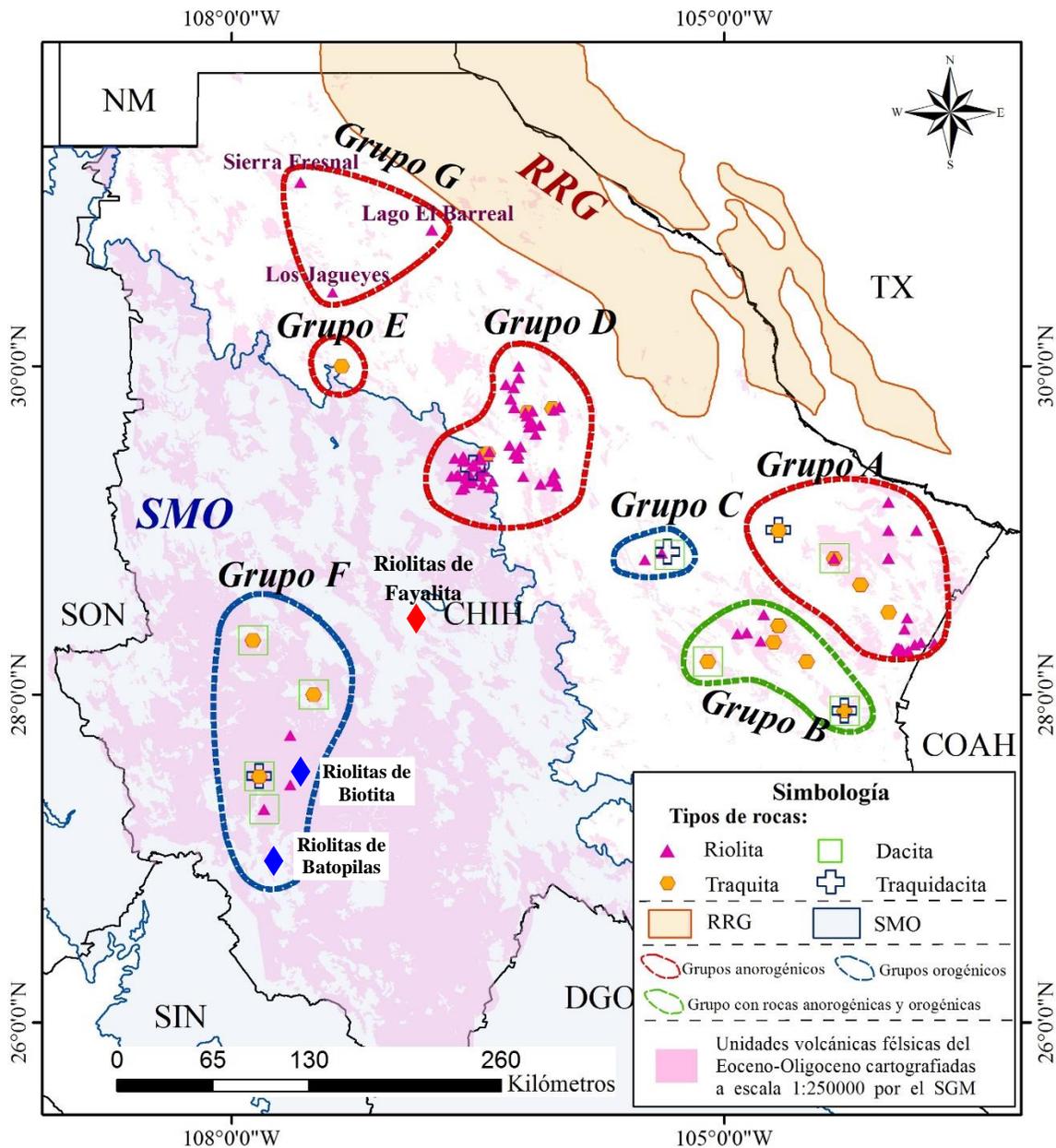


Figura 2. Mapa de distribución de datos donde se representan las muestras de rocas volcánicas de composición félsica y de edad Eoceno tardío-Oligoceno, distinguiéndolas de acuerdo con su clasificación petrológica. Se muestran también los grupos petrológicos establecidos en base a la distribución geográfica. **SON:** Sonora; **SIN:** Sinaloa, **DGO:** Durango, **COAH:** Coahuila, **TX:** Texas,



NM: Nuevo México, **RRG:** Rift del Río Grande (sedimentos asociados), **SMO:** Sierra Madre Occidental (Provincia Fisiográfica). La cartografía de las unidades volcánicas félsicas fue obtenida de las cartas geológicas en formato shapefile, a escala 1:250 000 recopiladas de GeoInfoMex del Servicio Geológico Mexicano [7], y modificadas para esta investigación. La extensión de la provincia de la Sierra Madre Occidental se obtuvo del Sitio del INEGI [11]. La delimitación del rift del Río Grande corresponde al límite espacial de los sedimentos plio-cuaternarios asociados a este rift [15], se utiliza para representar la extensión de los productos asociados a esta provincia en Chihuahua.

Por medio del diagrama de clasificación geoquímica TAS de Le Bas et al. [15], se pudo observar que el volcanismo silícico del estado de Chihuahua, aquí considerado, es representado principalmente por riolitas, traquitas, dacitas y traquidacitas (de mayor a menor abundancia respectivamente Figura 3).

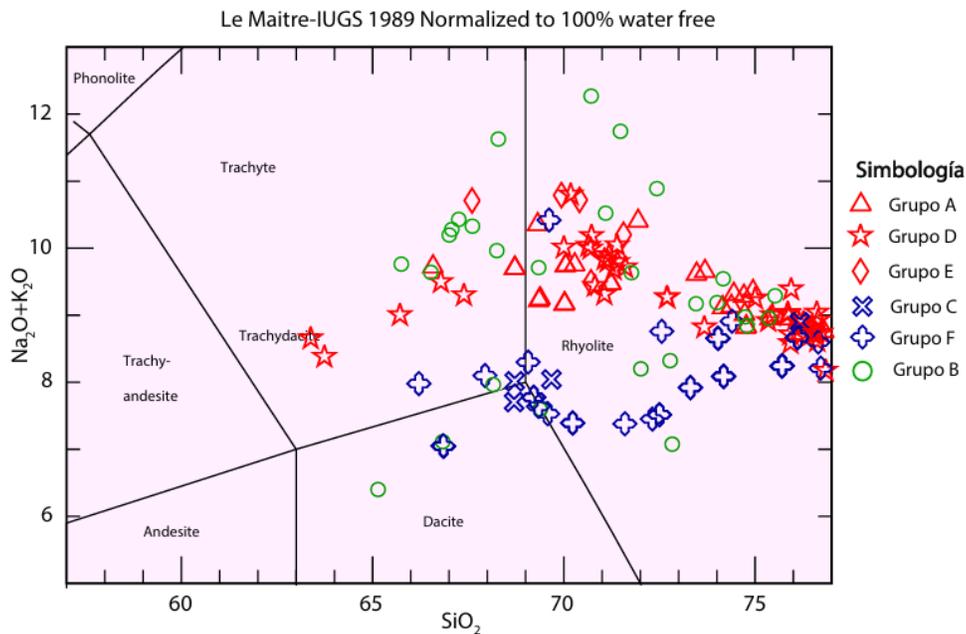


Figura 3. Diagrama de clasificación química TAS propuesto por Le Bas et al. [15]. Se presentan las muestras según los grupos establecidos.

El procesamiento de los datos geoquímicos de los grupos de rocas permite reconocer entre dos comportamientos por medio de distintas tendencias que pueden ser comparadas con las dos firmas conocidas y reportadas anteriormente en las rocas volcánicas de la SMO (riolitas de fayalita y riolitas de biotita; rocas de afinidades anorogénicas y orogénicas respectivamente; Figura 4 y 5).

De acuerdo con los contenidos de los elementos mayores Si, Na, K, Ca, Fe y Mg, por un lado, los rasgos de los grupos de rocas de la serie anorogénica consisten en proporciones más importantes de álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) con respecto al sílice, en comparación con las rocas de la serie orogénica, que sigue un comportamiento muy similar a la mayoría de las rocas volcánicas de la SMO (Figura 4A). Por otro lado, las proporciones de Ca vs Si en las rocas de la serie anorogénica son menores, comparado con las orogénicas (Figura 4B). Por último, la relación de $\left(\frac{\text{FeO}}{\text{FeO}+\text{MgO}}\right)$ vs. SiO_2 propuesta por Frost y Frost [16] indica que las rocas de la serie anorogénica se distribuyen en el campo ferroano, con proporciones más importantes de FeO, a diferencia de las rocas orogénicas que se distribuyen en el campo magnesiano (Figura 4C y 4D). Coincidiendo estas últimas con el comportamiento de las rocas félsicas más comunes y típicas de la SMO, representadas por las riolitas de biotita [4] y las riolitas de Batopilas [2].

El comportamiento de los elementos mayores permite que los grupos aquí nombrados F y C, sean asociados a una afinidad más acorde a las riolitas de biotita (rocas típicas y más comunes en la



Sierra Madre Occidental), definiendo a estos dos grupos como parte del magmatismo orogénico. Mientras que los grupos A, D, E y G, presentan un comportamiento similar al de las riolitas de fayalita (rasgos anorogénicos). Sin embargo, solo para el caso del grupo B se reconocieron las dos firmas.

La distribución geográfica de los datos obtenidos para las dos principales tendencias geoquímicas identificadas (orogénica y anorogénica) muestra tener una identidad. Esta se caracteriza por la predominancia de rocas anorogénicas al norte y noroeste del estado de Chihuahua, mientras que la serie de las rocas orogénicas es más abundante hacia el suroeste (Figura 2).

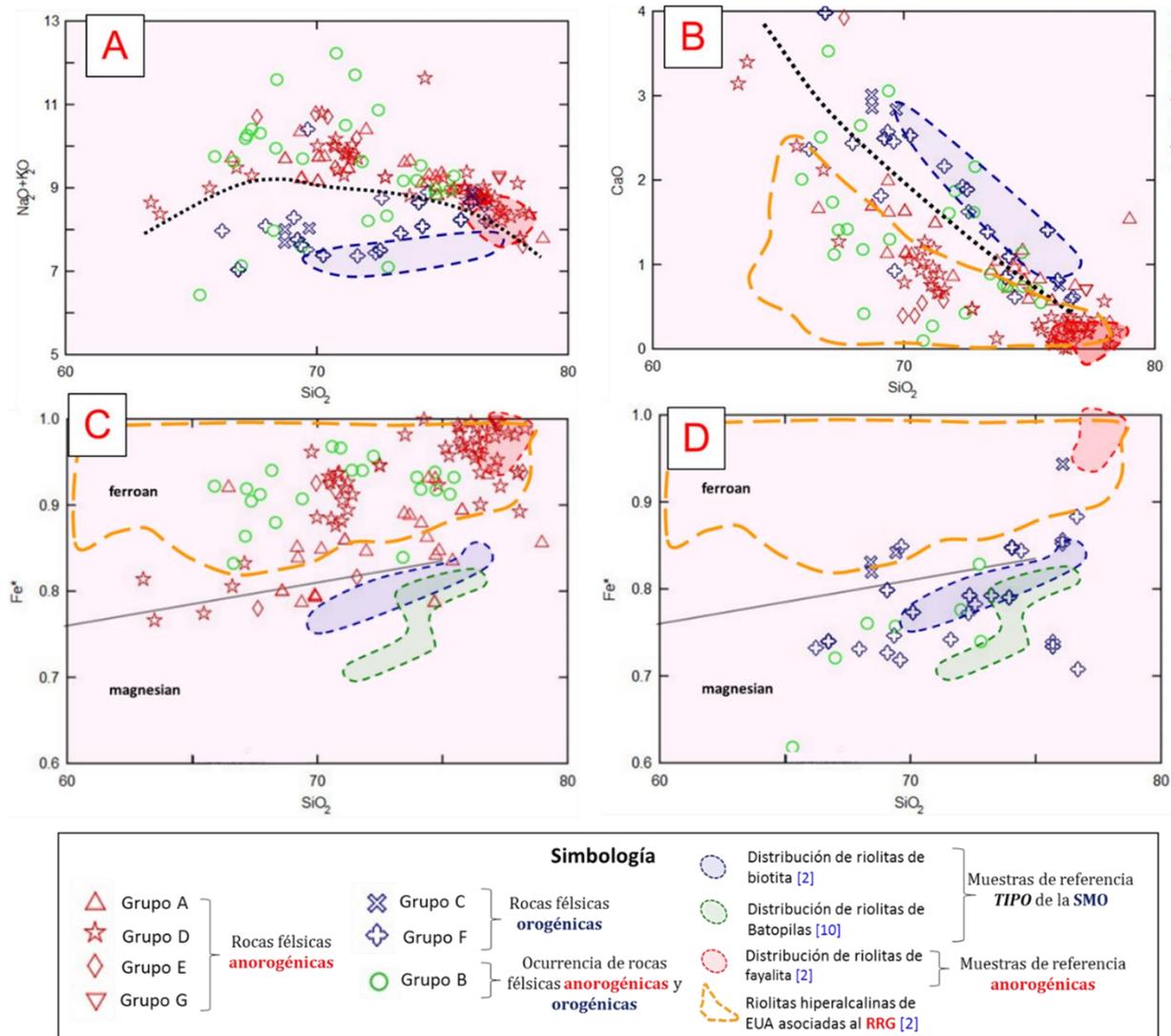


Figura 4. Diagramas de variación de elementos mayores en función de la sílice. (A) Contenido de álcalis en las muestras con respecto al sílice ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2). (B) Variación en valores de CaO en función del SiO_2 . (C) Diagrama discriminador rocas ígneas feldespáticas de SiO_2 vs Fe^* ($\frac{\text{FeO}}{\text{FeO}+\text{MgO}}$) propuesto por Frost y Frost [16], mostrando que los grupos anorogénicos se distribuyen mayormente en el campo ferroano. (D) Diagrama discriminador de rocas ígneas feldespáticas propuesto por Frost y Frost [16], mostrando que los grupos orogénicos.



Con respecto a los rasgos en las proporciones de elementos traza, también es posible observar un comportamiento diferente asociado a cada tendencia. Mediante diagramas multielementales como el normalizado a MORB según Pearce [17], las rocas orogénicas (e.g. tipo SMO) contienen menores concentraciones de Zr, Hf, Sm, Y e Yb, con respecto a los grupos anorogénicos, que además presentan mayores contenidos en Nb, Ce, Rb y Th, y anomalías negativas de Sr, Ba y P más pronunciadas (Figura 5A y 5B). Es de notar que dichas anomalías son similares a las presentadas por las rocas hiperalcalinas reportadas en la Provincia Magmática del Trans-Pecos (PMTP) [4].

Considerando al grupo de elementos de tierras raras (REE), las rocas de tendencia anorogénica muestran en general un enriquecimiento más importante y una anomalía negativa en Eu más pronunciada, como lo muestran las rocas del grupo B (Figura 5C). Este rasgo puede resultar de una cristalización fraccionada temprana de plagioclasa en los magmas. A diferencia de las rocas orogénicas, que claramente muestran un comportamiento más acorde al de las riolitas de la SMO, que son representadas en este caso por las riolitas de biotita (Figura 5D) [4].

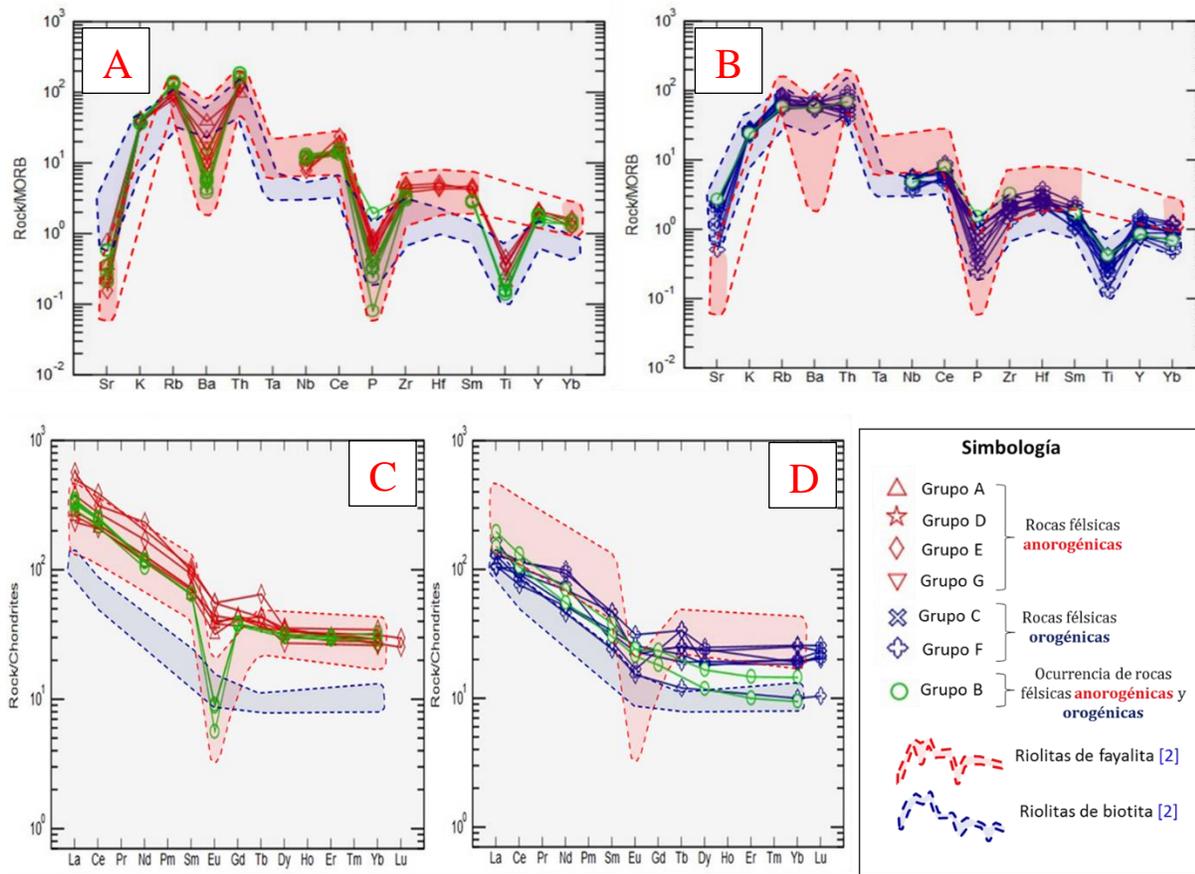


Figura 5. Variaciones en las proporciones de elementos traza y REE en las rocas con tendencias anorogénicas y orogénicas mencionadas en el texto. (A) Diagrama Spider normalizado a MORB según Pearce [17] (que muestra los grupos de rocas con tendencia anorogénica); (B) comportamiento de las muestras con tendencia orogénica; (C) diagrama de tierras raras normalizado a condrita según los valores de Sun y McDonough [18], que muestra el comportamiento de muestras representativas de los grupos de rocas con tendencia anorogénica; (D) comportamiento de muestras de los grupos de rocas con tendencia orogénica.



Asociación mineralógica en las unidades anorogénicas

Como parte de los datos recopilados y los obtenidos en un análisis petrográfico realizado en algunas muestras del grupo D, por Arredondo-Contreras [7] en el marco de esta investigación, fue posible poner en evidencia sus rasgos mineralógicos peculiares. Estos constan de una asociación mineral de feldespato alcalino de tipo sanidina, clinopiroxeno verde de tipo aegirina y, olivino rico en Fe de tipo fayalita (Figura 6) [8]. Esta asociación mineralógica, como se ha mencionado anteriormente, puede distinguirse fácilmente de las muestras de referencia asociadas a la SMO (e.g. riolitas de biotita), que son caracterizadas por la presencia importante de plagioclasa y ferromagnesianos como biotita y hornblenda.

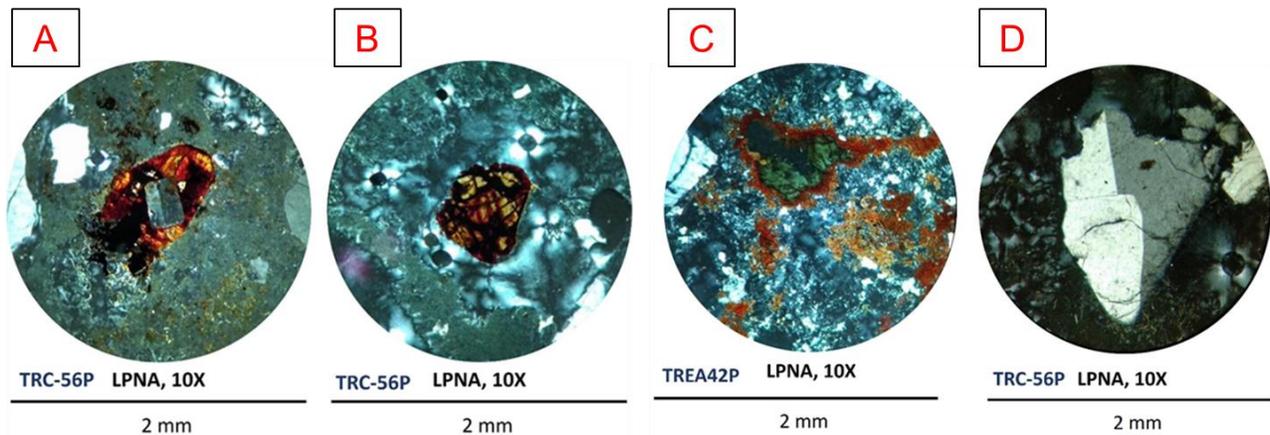


Figura 6. Principales rasgos minerales encontrados a través del estudio petrográfico de secciones delgadas en algunas muestras obtenidas del grupo D. (A) Cristal de feldespato alcalino dentro de un cristal de clinopiroxeno tipo aegirina de alto relieve con un alto grado de oxidación; (B)

fenocristal de aegirina en alto relieve; (C) cristalización tardía en la matriz de un anfíbol rico en Na del tipo arfvedsonita rodeado por fayalita [8]; (D) cristal de sanidina. **LPNA:** luz polarizada no analizada.

Comparación con el volcanismo anorogénico del Rift del Río Grande

El volcanismo anorogénico del Rift del Río Grande, que es caracterizado por la ocurrencia de rocas félsicas hiperalcalinas; se presenta en un periodo de tiempo entre los 37 Ma y los 27 Ma, en los estados de Colorado, Nuevo México y Texas [16]. Particularmente al norte de Chihuahua, en la región del Trans-Pecos en Texas, donde se encuentra la mayor concentración del volcanismo francamente hiperalcalino [8], su constitución mineralógica incluye a las especies minerales de sanidina, fayalita, aegirina, arfvedsonita y aenigmatita [19]. Esta misma mineralogía, que se incluye en las riolitas de ferroaugita [3], [4] y en las hiperalcalinas del centro de Chihuahua mostradas en este estudio (Figura 6), podría ser un punto de partida para proponer una relación entre el volcanismo en ambas regiones. Por otro lado, los datos geocronológicos recopilados en este trabajo indican que el volcanismo félsico del RRG (37-27 Ma) [8 y 20] es contemporáneo al volcanismo de afinidad anorogénica reconocido en Chihuahua [3], [4], [8], [9], desde los 31.5 Ma a los 28 Ma [4]. Una variación en edad de 37 Ma a 30 Ma ha sido reportada para el magmatismo félsico de la provincia extensional del Trans-Pecos, lo cual muestra una posible migración de este volcanismo hacia la frontera con Chihuahua [5].

Geoquímicamente, las unidades con tendencia anorogénica del estado de Chihuahua muestran rasgos similares a las rocas hiperalcalinas del Rift del Río Grande. Como se muestra en la Figura 4A, ambos tipos de rocas muestran una proporción más importante de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) y



menores contenidos de CaO (Figura 4B) en comparación con las rocas de tendencia orogénica de la SMO (e.g. riolitas de Biotita). En general, las rocas a partir de concentraciones superiores al 66% de SiO₂, contienen importantes cantidades de álcalis (K₂O+Na₂O), regularmente superiores al 9 %. Sin embargo, es de notar una alcalinidad más alta en las rocas hiperalcalinas del RRG, que llegan a contener valores de hasta 13% de álcalis para contenidos de 66% de sílice. En aquellas variedades que tienen una fuerte diferenciación (>75% en sílice), se puede percibir una disminución de álcalis que puede adquirir valores muy cercanos a los de las riolitas de tendencia orogénica de la SMO.

La relación de $\frac{\text{FeO}}{\text{FeO}+\text{MgO}}$ permite distinguir a magmas félsicos con un enriquecimiento importante en Fe con respecto al Mg como ocurre en los datos de las rocas de tendencia anorogénica de Chihuahua y lo de las rocas hiperalcalinas del RRG [16] (Figura C). Esto ha sido interpretado como derivado de magmas formados bajo condiciones reductoras que son asociadas a ambientes extensionales [16].

La proporción de Rb contra el contenido de Y+Nb permite, mediante el diagrama propuesto por Pearce et al. [21], discriminar entre varios contextos tectónicos anorogénico y orogénicos. Las rocas de tendencia orogénica de la Sierra Madre Occidental son clasificadas como de un ambiente de Arco Volcánico (VAG), mientras que, en el caso contrario, las proporciones más altas de Nb+Y provienen de las rocas félsicas de los grupos identificados con tendencia anorogénica en Chihuahua, y ocupan el campo de rocas de un contexto de Intraplaca (WPG), de la misma forma

que las rocas hiperalcalinas del RRG (Figura 7). Esto permite establecer otra relación más en cuanto al contexto tectónico de los magmas que se relacionan a la PMRRG.

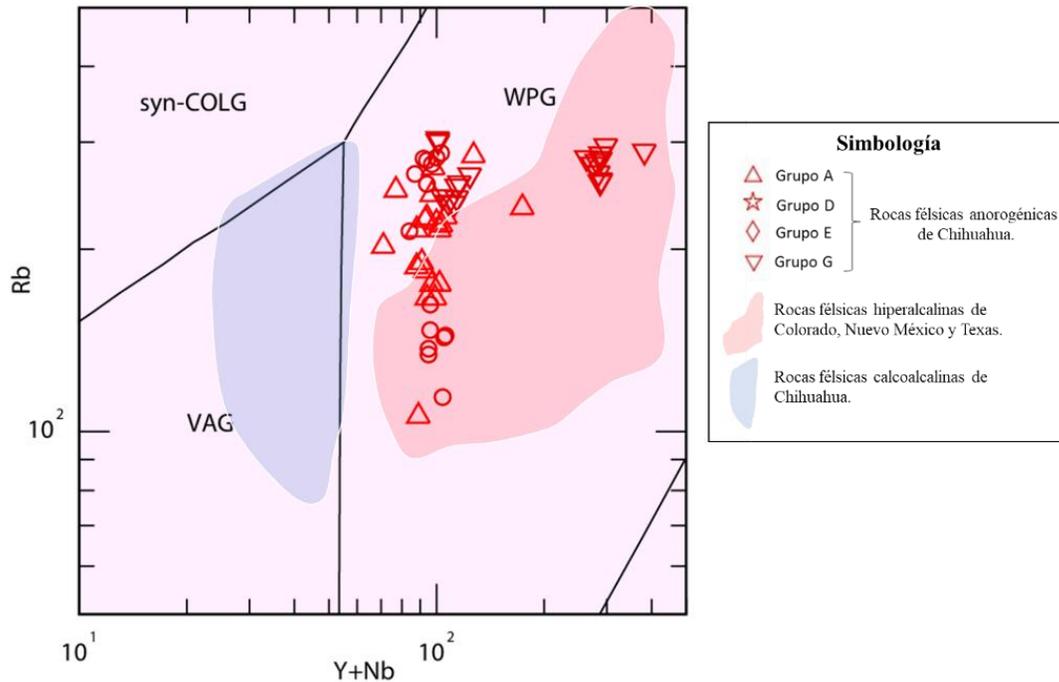


Figura 7. Diagrama de Pearce et al. [21] para diferenciar entre contextos tectónicos. Se muestra el comportamiento de las rocas félsicas con tendencia anorogénica del estado de Chihuahua.

Las rocas félsicas relacionadas a la provincia anorogénica del RRG en el estado de Chihuahua, que han sido identificadas hasta el momento, permiten visualizar su distribución a lo largo de una franja oriental, desde la frontera con el estado de Texas hasta la porción Este de lo que se conoce como la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental. Esto permite considerar que el volcanismo félsico del RRG se prolonga más al sur de EUA dentro del estado de Chihuahua, como ya lo han propuesto algunos autores [22]. Sin embargo, en este estudio se observa que los productos asociados a este rift no los se restringen a la frontera, sino que ocupan gran parte del



territorio del estado, extendiéndose hasta al borde oriental de la provincia fisiográfica de la SMO (Figura 8). Por el momento es difícil establecer un límite geográfico para la provincia magmática RRG en México, debido a que hacen falta integrar más datos de rocas similares al sur de Chihuahua y al menos los de los estados Coahuila y Durango. Esta tarea puede ser en ocasiones complicada para aquellos sitios en donde ambos tipos de rocas con afinidad orogénica y anorogénica coexisten espacialmente.

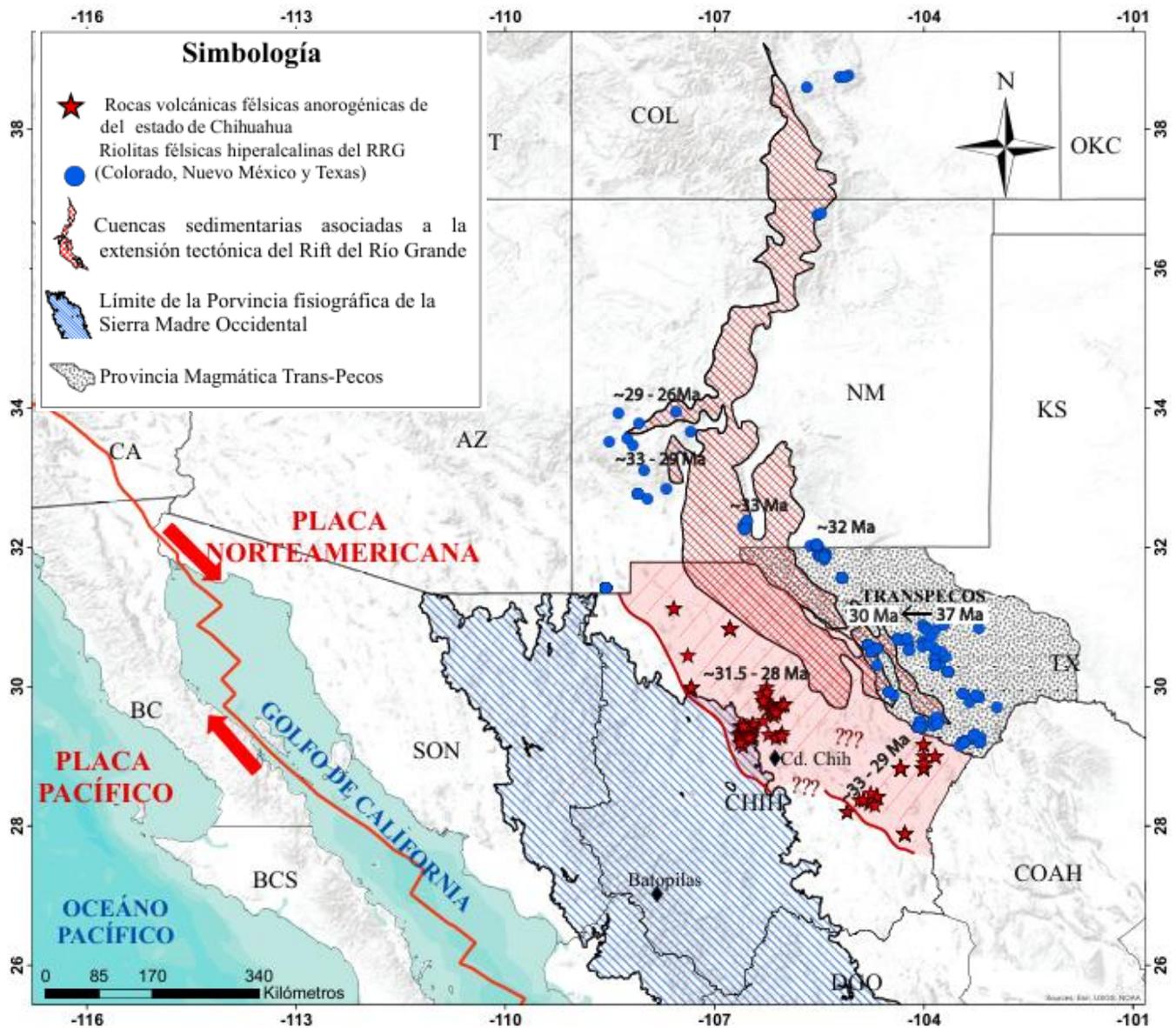


Figura 8. Mapa de distribución espacial de las rocas félsicas anorogénicas del estado de Chihuahua (estrellas rojas) y de las rocas félsicas hipercalinas (círculos azules), identificadas mediante la recopilación bibliográfica. La provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental se obtuvo del Sitio del INEGI [10]. La delimitación del Rift del Río Grande es una modificación de





Villarreal-Fuentes et al. [11], donde se representa el límite espacial de los sedimentos plio-cuaternarios asociados a este Rift. La delimitación de la Provincia del Trans-Pecos fue obtenida de Cook [23].

Conclusión

La recopilación de datos de rocas volcánicas de composiciones silíceas con edades Eoceno tardío-Oligoceno del estado de Chihuahua pone en evidencia la ocurrencia de rocas volcánicas silíceas contemporáneas, que presentan las mismas características geoquímicas y mineralógicas de las unidades presentes en el rift del Río Grande en Estados Unidos. Estas rocas contrastan petrológicamente de las que componen al volcanismo silíceo de afinidad orogénica, típico de la Provincia Magmática de la Sierra Madre Occidental, lo cual otorga una geoidentidad magmática a la porción centro y oriental Estado de Chihuahua, al distribuirse a lo largo de una franja en el borde este de la SMO.

Agradecimientos

Esta problemática es parte de la investigación de Maestría en Ciencias-Geología de la autora dentro del proyecto de investigación intitulado “El rift del Río Grande en México, ¿posible fuente de REE?”, desarrollado en el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora bajo la dirección del Dr. Vidal-Solano, financiado por el Proyecto CONACYT CB/CF 320694 a través de la convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera en la Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022. Agradecemos a todo el equipo de trabajo en este proyecto: Geol. Tania Arredondo-Contreras, Dra. Alejandra Gómez-Valencia, Pedro Escatel, Alondra



Miranda, Geol. Iván Herrera, M.C. Gerardo Lopez-Velarde y al personal del SGM Gerencia Norte. Finalmente, agradecemos al Dr. José Luis Arce Saldaña y a los revisores anónimos que ayudaron a enriquecer en gran medida este trabajo.

Referencias

- [1] L. Ferrari, M. Valencia-Moreno y S. Bryan, “Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica”, *Boletín Soc. Geol. Mex.*, vol. 57, n.º 3, pp. 343–378, 2005. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n3a5>
- [2] M. Cameron, W. C. Bagby y K. L. Cameron, “Petrogenesis of voluminous mid-Tertiary ignimbrites of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico”, *Contributions Mineralogy Petrol.*, vol. 74, n.º 3, pp. 271–284, octubre de 1980. <https://doi.org/10.1007/bf00371697>
- [3] K. L. Cameron, M. Cameron, W. C. Bagby, E. J. Moll y R. E. Drake, “Petrologic characteristics of mid-Tertiary volcanic suites, Chihuahua, Mexico”, *Geology*, vol. 8, n.º 2, p. 87, 1980. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1980\)8%3C87:pcomvs%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1980)8%3C87:pcomvs%3E2.0.co;2)
- [4] M. C. Magonthier, “Distinctive rhyolite suites in the mid-Tertiary ignimbritic complex of the Sierra Madre Occidental, western Mexico”, *Bull. de la Société Géologique de France*, vol. IV, n.º 1, pp. 57–68, enero de 1988. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.iv.1.57>
- [5] D. F. Parker y G. D. Henderson, “Geochemical evolution of the Paradise Mountain Caldera complex, Davis Mountains: Implications for the tectonic and magmatic evolution of Trans-Pecos Texas and adjacent Mexico”, *Lithos*, p. 106453, septiembre de 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106453>
- [6] Y. A. Liu, M. A. Murphy, J. van Wijk, D. J. Koning, T. Smith y R. A. Andrea, “Progressive opening of the northern Rio Grande rift based on fault structure and kinematics of the Tusas-Abiquiu segment in north-central New Mexico, U.S.”, *Tectonophysics*, vol. 753, pp. 15–35, febrero de 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.01.004>





[7] T. Arredondo-Contreras, “Caracterización y puesta en evidencia de riolitas hiperalcalinas en Chihuahua, México: Significado geodinámico”, Tesis de licenciatura, Univ. Sonora, HERMOSILLO, 2023.

[8] C. Moreno-García “El volcanismo félsico del Rift del Río Grande en Chihuahua, México: Una provincia magmática diferente a la Sierra Madre Occidental” Tesis de licenciatura, Univ. Sonora, HERMOSILLO, 2023.

[9] “GeoInfoMex” - El Banco de Datos del SGM”. Servicio Geológico Mexicano.
<https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>

[10] “Fisiografía”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
<https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/#Mapa>

[11] J. Villarreal-Fuentes, G. Levresse, A. F. Nieto-Samaniego, P. Alexandre y R. Corona-Esquivel, “Geochemistry and geochronology of the Sierra de Gomez Limestone-hosted U deposit, Chihuahua: Implications for distribution of Rio Grande rift mineral deposits in northern Mexico”, *Ore Geol. Rev.*, vol. 76, pp. 19–34, julio de 2016. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.004>

[12] The North American Volcanic and Intrusive Rock Database (NAVDAT). <https://www.navdat.org/NavdatSearch/index.com>

[13] “Geochemical Rock Database-Query”. GEOROC Project. <https://georoc.eu/georoc/new-start.asp>



-
- [14] S. Shackley. "Catalog of the Greater American Southwest archaeological obsidian sources" (Geoarchaeological XRF Laboratory). <http://swxrflab.net/swobsrsrcs.htm>
- [15] M. Le Bas, R. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin, IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram", *Journal Of Petrology* 27, 745-750, 1986. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
- [16] B. R. Frost y C. D. Frost, "A Geochemical Classification for Feldspathic Igneous Rocks", *J. Petrol.*, vol. 49, n.º 11, pp. 1955–1969, noviembre de 2008. <https://doi.org/10.1093/petrology/egn054>
- [17] J. A. Pearce. "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, pp. 230-249, 1983.
- [18] S. s. Sun y W. F. McDonough, "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", *Geolog. Soc., London, Special Publications*, vol. 42, n.º 1, pp. 313–345, 1989. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- [19] R. Macdonald, A.S. Marshall, J.B. Dawson, R.W. Hinton, y P.G. Hill. "Chevckinite-group minerals from salic volcanic rocks of the East African Rift", *Mineralogical Magazine*, Vol. 66(2), p. 287-299, 2002. <https://doi.org/10.1180/0026461026620029>
- [20] D. S. Barker, "Northern Trans-Pecos magmatic province: Introduction and comparison with the Kenya rift", *Geological Society of America Bulletin*, 88(10), 1421 1427,1977. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<1421:NTMPIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<1421:NTMPIA>2.0.CO;2)
-



[21] J. A. Pearce, N. B. Harris, & A. G. Tindle, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks". *Journal of petrology*, 25(4), 956-983, 1984.

<https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>

[22] G. R. Keller, J. H. Hinojosa, J. R. Dyer, C. L. V. Aiken & J. M. Hoffer, "Preliminar y investigaciones of the extent of Río Grande rift in the northern portion of the state of Chihuahua", *Geofísica Internacional*, 28(5), 1043-1049, 1989.

<https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1989.28.5.1335>

[23] T. Cook, "Travels in Geology: Touring Texas' Trans-Pecos". *Earth: The Science Behind the Headlines* <https://www.earthmagazine.org/article/travels-geology-touring-texas-trans-pecos/>

Cómo citar este artículo:

Moreno-García, C. M., Vidal-Solano, J. R., Velderrain-Rojas, L. A., Terán-Ortega, L. A., & Jiménez-Gonzaga, J. A. (2024). *Geoidentidad magmática de la provincia del Rift del Río Grande en Chihuahua, México*. *EPISTEMUS*, 18(36). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i36.352>

