



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

“PROCEDENCIA Y MARCO TECTÓNICO DE LA FORMACIÓN MORITA, NORESTE DE SONORA, MÉXICO: GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA.”

TESIS

Que para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias-Geología.



PRESENTA

ERIK RAMÍREZ MONTOYA

Hermosillo, Sonora, Mayo de 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



UNIVERSIDAD DE SONORA



**DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**“PROCEDENCIA Y MARCO TECTÓNICO DE LA FORMACIÓN MORITA, NORESTE
DE SONORA, MÉXICO: GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA.”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLOGÍA**

**DIRECTOR: DR. MADHAVARAJU JAYAGOPAL
CO-DIRECTOR: DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA.**



Agradecimientos

Quiero agradecer a Conacyt por el apoyo brindado a través de la beca otorgada en el transcurso del periodo de Enero del 2015 a Diciembre del 2016, bajo el número de registro 573528 y número de beca 402398.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad de Sonora, por brindarme la oportunidad de formar parte de ella una vez más, ahora en esta etapa de Maestría.

Al departamento de Geología y todo su personal docente, por todos los nuevos conocimientos adquiridos en esta etapa, así como todas las facilidades prestadas para desarrollar este trabajo de tesis.

Al Instituto de Geología de la UNAM, Estación Regional del Noroeste (ERNO), por permitirme ser parte del proyecto que dio origen a esta tesis.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo económico brindado para la realización del trabajo de campo y análisis geoquímico del proyecto titulado: —Procedencia y evolución tectónica de las rocas clásticas de la Formación Morita del Grupo Bisbee: enfoque desde la geoquímica y geocronología - IN112214II, del cual es parte mi trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. Madhavaraju Jayagopal.

Un agradecimiento especial a mis directores de tesis, el Dr. Madhavaraju Jayagopal y el Dr. Rogelio Monreal Saavedra, por sus enseñanzas, apoyo y sobre todo su confianza.

Igualmente quiero agradecer al Dr. Carlos González León, Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega y Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado, por todas sus observaciones, consejos, correcciones, comentarios y su invaluable apoyo a través de todo este proceso, a ustedes muchas gracias.

También quiero agradecer a la Sra. Giron García y al Sr. Rufino Lozano Santa Cruz, del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México por su ayuda en el análisis de XRF; También, me gustaría agradecer a Pablo Peñaflor Escarcega, de la Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México por su ayuda en la pulverización de las muestras para los estudios geoquímicos; del mismo modo a la Geol. Adriana Aimé Orcí Romero por su preparación de láminas delgadas para petrografía también del Instituto de Geología, ERNO, Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Dr. Luigi Solari y Dr. Carlos Ortega Obregón, por su apoyo en el análisis de geocronología de zircones, en el Laboratorio de Estudios Isotópicos, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

A la M.C. Ofelia Pérez Arvizu, por su apoyo en el análisis por medio de la técnica ICP-MS, en el Laboratorio de Estudios Isotópicos, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

A mis amigos y compañeros, en especial al Geol. Julio Cesar Saucedo Samaniego, Geol. Luis Ángel Encinas Valenzuela y Geol. Martín Francisco García Barrios por su apoyo tanto en lo profesional como en lo personal.

Pero sobre todo quiero agradecer a mi familia, por su incondicional apoyo y ánimos, muchas gracias, este trabajo está dedicado a ustedes.

Índice

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo general.....	2
1.3 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Justificación	3
1.5 Localización y vías de acceso.....	3
1.6 Antecedentes.....	5
CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	9
2.1 Desarrollo paleogeográfico	9
2.2 Geología Local.....	12
2.2.1 Precámbrico.....	12
2.2.2 Paleozoico	13
2.2.3 Mesozoico.....	15
2.2.4 Cenozoico.....	16
2.3 Grupo Bisbee.....	16
2.3.1 Conglomerado Glance	16
2.3.2 Formación Morita	17
2.3.3 Caliza Mural.....	19
2.3.4 Formación Cintura	21
2.4 Áreas de estudio.....	22
CAPÍTULO 3. PETROGRAFÍA	26
3.1 Introducción	26
3.2 Metodología	27
3.3 Resultados.....	31
CAPÍTULO 4. GEOQUÍMICA.....	34
4.1 Introducción	34
4.2 Materiales y Métodos.....	35
4.3 Resultados.....	38
4.3.1 Elementos mayores	38
4.3.1.1 Sección Sierra Anibacachi	38
4.3.1.2 Sección Rancho Búfalo.....	40
4.3.2. Elemento traza y tierras raras	42
4.3.2.1. Sección Sierra Anibacachi	42

4.3.2.2. Sección Rancho Búfalo.....	48
4.4 Discusión	52
4.4.1 Paleointemperismo	52
4.4.2 Marco tectónico.....	57
4.4.3 Procedencia.....	65
CAPITULO 5. GEOCRONOLOGÍA.....	76
5.1 Metodología	77
5.1.1 Metodología para datación U-Pb empleada en Arizona Laserchron Center	77
5.1.2 Metodología para datación U-Pb en el Centro de Geociencias, UNAM.....	78
5.2 Resultados.....	78
5.2.1 Sección Sierra Anibacachi	79
5.2.2 Sección Rancho Búfalo.....	82
5.3 Interpretación.....	85
CAPITULO 6. GEOQUÍMICA DE ZIRCÓN	89
6.1 Introducción	89
6.2 Metodología	89
6.3 Resultados.....	90
6.3.1 Elementos traza y tierras raras en zircón	90
6.4 Implicaciones para los estudios de zircones detríticos	93
CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....	101
REFERENCIAS CITADAS	107

Lista de Figuras

Figura 1.1 Localización de la sección estudiada en el área de estudio Sierra Anibacachi.	4
Figura 1.2 Localización de la sección estudiada en área de estudio Rancho Búfalo.	5
Figura 2.1 Correlación estratigráfica y delimitación paleogeográfica de la Cuenca Bisbee durante el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano en el suroeste de Arizona y noroeste de Sonora. Modificado de González-León et al. (2008).	9
Figura 2.2 Columna estratigráfica de las 4 Formaciones representativas del Grupo Bisbee, de la base a la cima: Conglomerado Glance, Formación Morita, Caliza Mural y Formación Cintura. .	12
Figura 2.4 Afloramientos del Granito Mesteñas en el área de estudio.	13
Figura 2.5 Afloramiento de la Cuarcita Bolsa cercano a la región de Fronteras.	14
Figura 2.6 A) Capas de arenisca y limolita de origen fluvial de la Arenisca Camas del Grupo Cabullona, región de Naco-Cananea. B) Lutitas negras de origen lacustre de la Lutita Packard (Grupo Cabullona, Cretácico Tardío) en la región de Naco-Cananea. Modificada de González-León, 2010.	15
Figura 2.7 Afloramiento del Conglomerado Glance en Sierra Anibacachi, la mayor parte de sus clastos están compuestos por fragmentos de calizas Paleozoicas y del Esquisto Pinal.	17
Figura 2.8. Distribución de los ambientes de depositación de la Formación Morita. Modificado de Monreal et al. (2011).	19
Figura 2.9 Afloramiento de caliza del miembro Fronteras dentro de la Caliza Mural en Rancho Búfalo, Fronteras, Sonora. (Tomado de Saucedo-Samaniego, Julio, 2015).	21
Figura 2.10 A) Afloramiento de la Formación Morita en Sierra Anibacachi (Izquierda), B) afloramiento de la Formación Morita en Rancho Búfalo (Derecha).	23
Figura 2.11 Columnas estratigráficas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo. ...	24
Figura 2.12 Mapas geológicos de las áreas de Sierra Anibacachi (arriba) y Rancho Búfalo (abajo).	25
Figura 3.1 Microscopio Olympus BX-51 y contador Swift.	27
Figura 3.2 Lámina delgada de las muestras de Sierra Anibacachi. A) muestra SAMF 29, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo). B) muestra SAMF 25, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo)	29
Figura 3.3 Lámina delgada de las muestras de Rancho Búfalo. A) muestra RBMF 14, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo). B) muestra RBMF 17, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo).	30
Figura 3.4 Diagrama de clasificación ternario de areniscas (Folk, 1980) de la Formación Morita de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo, donde, Qz: cuarzo total, F: feldespatos, Fr: fragmeto de roca (líticos).	31
Figura 3.5 Esquema de Proveniencia de Areniscas de acuerdo con Dickinson (1983) de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo. Donde Qt= Cuarzo total, F= feldespatos, L= líticos.	33
Figura 3.6 Diagrama de Procedencia de Areniscas de acuerdo con Dickinson (1983) de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo. Donde Qm= Cuarzo monocristalino, F= feldespatos, L= líticos totales (incluyendo cuarzo policristalino).	33
Figura 4.1 A) Perla de vidrio para análisis fluorescencia rayos X; B) Espectrometro de rayos X, Rigaku ZSX primus II. C) Horno para calcinar muestra y crisol de porcelana.	36

Figura 4.2 Diagrama de clasificación geoquímica de la sección Sierra Anibacachi usando log (Fe ₂ O ₃ /K ₂ O) – log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃) (Herron, 1988).....	40
Figura 4.3 Diagrama de clasificación geoquímica de la sección Rancho Búfalo usando log (Fe ₂ O ₃ /K ₂ O) – log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃) (Herron, 1988).....	42
Figura 4.3 Patrones elementos traza sección Sierra Anibacachi normalizados con UCC de Taylor y McLennan (1985).	45
Figura 4.4 Patrones REE sección Sierra Anibacachi normalizados con condrita McDonough y Sun (1995).	47
Figura 4.5 Patrones elementos traza sección Rancho Búfalo normalizados con UCC de Taylor y McLennan (1985).	50
Figura 4.6 Patrones REE sección Rancho Búfalo normalizados con condrita McDonough y Sun (1995).	51
Figura 4.7 Perfil de intemperismo idealizado desarrollado sobre basamento granítico. (Modificado de Nesbitt et al., 1997). Donde, A: Al ₂ O ₃ , CN: CaO*+Na ₂ O, K: K ₂ O.....	53
Figura 4.8 Diagrama ternario A-CN-K (de Nesbitt y Young, 1984). A: Al ₂ O ₃ ; CN: CaO* + Na ₂ O; K: K ₂ O (proporción molar) sección Sierra Anibacachi.	56
Figura 4.9 Diagrama ternario A-CN-K (de Nesbitt y Young, 1984). A: Al ₂ O ₃ ; CN: CaO* + Na ₂ O; K: K ₂ O (proporción molar) sección Rancho Búfalo.	56
Figura 4.10 Diagrama Fe ₂ O ₃ +MgO vs Al ₂ O ₃ /SiO ₂ de Bhatia (1983). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	59
Figura 4.11 Diagrama Fe ₂ O ₃ +MgO vs TiO ₂ de Bhatia (1983). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	60
Figura 4.12 Diagrama SiO ₂ adj vs K ₂ O+Na ₂ O de Roser y Korsch (1986). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	61
Figura 4.13 Diagrama La/Y–Sc/Cr de Bhatia y Crook (1986). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	62
Figura 4.14 Diagrama de funciones discriminantes de Verma y Armstrong-Altrin (2013). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo. Arc: Arco, Rift y Col: Colisión.	64
Figura 4.15 Diagrama de funciones discriminantes de Roser y Korsch (1988). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	68
Figura 4.16 Diagrama ternario La-Th-Sc de Cullers y Podkovyrov (2002). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo. De donde, La: lantano, Th: torio, Sc: escandio, GPT: granitoide permo-triásico, UCC: corteza continental superior, RVFMC: roca volcánica félsica mesozoica-cenozoica.	69
Figura 4.17 Diagrama bivariado de La/Th vs Hf (después de Floyd y Leveridge, 1987). A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo. Donde, GPT: granitoide permo-triásico, RVFMC: roca volcánica félsica mesozoica-cenozoica.	70
Figura 4.18 Diagrama bivariado de Co/Th vs La/Sc. A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo. Donde, GPT: granitoide permo-triásico, RVFMC: roca volcánica félsica mesozoica-cenozoica.	72
Figura 4.19 Comparación de patrones de REE normalizados con condrita, EP: Esquisto Pinal, GM: Granito Mesteñas, BC: Bloque Caborca, RFMC: Roca volcánica félsica del Mesozoico-Cenozoico. A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	73
Figura 4.20 Comparación de patrones de REE normalizados con condrita, resultado de cálculo mezcla vs muestras estudiadas. A) sección Sierra Anibacachi, B) sección Rancho Búfalo.	75

Figura 5.1 Laboratorio de geocronología del Centro de Geociencias, UNAM, campus Juriquilla; A) Mesa Wilfley de concentración por sacudimiento, B) Espectrómetro de Masas Neptune Plus, C) Sistema de Ablación Láser, D) Thermo Scientific ICP.	79
Figura 5.2 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 5..	80
Figura 5.3 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras SAMF 24.	81
Figura 5.4 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 2..	82
Figura 5.5 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 3..	83
Figura 5.6 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 28.	84
Figura 5.7 Porcentaje de zircones y sus edades provenientes de las muestras estudiadas en las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo.	86
Figura 6.1 Patrones de elementos tierras raras en zircones de la sección Sierra Anibacachi A) SAMF 5, B) SAMF 24.	92
Figura 6.2 Patrones de elementos tierras raras en zircones de la sección Rancho Búfalo A) RBMF2, B) RBMF 3.	93
Figura 6.3 Patrones atípicos de elementos tierras raras en zircones de la sección Sierra Anibacachi. A) SAMF 5, B) SAMF 24.	97
Figura 6.4 Patrones atípicos de elementos tierras raras en zircones de la sección Rancho Búfalo. A) RBMF 2, B) RBMF 3.	98
Figura 6.5 A) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs U) para la sección Sierra Anibacachi. Belousova et al., 2002.	99
Figura 6.5 B) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs Yb/Sm) para la sección Sierra Anibacachi. Belousova et al., 2002.	100
Figura 6.5 C) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs U) para la sección Rancho Búfalo. Belousova et al., 2002.	100
Figura 6.5 D) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs Yb/Sm) para la sección Rancho Búfalo. Belousova et al., 2002.	101

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Análisis composicional en porcentaje de las areniscas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo; de donde: Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, K: granos de feldespato potásico, P: plagioclasas, Lm: líticos metamórficos, Ls: líticos sedimentarios, Lvf: líticos volcánicos con textura félsica, Lvm: líticos volcánicos con textura micro lítica, Lvl: líticos volcánicos con textura lathwork.	28
Tabla 3.2 Parámetros contabilizados recalculados al 100% del total de la roca. Análisis petrográfico de las areniscas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo, de donde: Qt: cuarzo total, F: feldespatos, L: líticos; Q: cuarzo monocristalino, F: feldespatos, Lt: lítico total.	28
Tabla 4.1 Comparación de datos de óxidos mayores con la muestra JBG1 de con datos certificados de GSJ (Imai <i>et al.</i> , 1995). ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 4.1 Comparación de datos de óxidos mayores con la muestra JBG1 con datos certificados de GSJ (Imai <i>et al.</i> , 1995).	34
Tabla 4.2 Valores estándares de elementos traza y REE comparados con valores de estudio.	35

Tabla 4.3 Datos de óxidos mayores (%peso) para areniscas, limolitas y lutitas de la Formación Morita en la Sección Sierra Anibacachi.....	37
Tabla 4.4 Datos de óxidos mayores (%peso) para areniscas, limolitas y lutitas de la Formación Morita en la Sección Rancho Búfalo.	39
Tabla 4.5 A) Tabla de contenidos de Elementos Traza en ppm para las muestras de la sección Sierra Anibacachi.....	41
Tabla 4.5 B) Tabla de contenidos de Elementos Tierras Raras en ppm para las muestras de la sección Sierra Anibacachi.....	42
Tabla 4.6 A) Tabla de contenidos de Elementos Traza en ppm para las muestras de la sección Rancho Búfalo.	46
Tabla 4.6 B) Tabla de contenidos de Elementos Tierras Raras en ppm para las muestras de la sección Rancho Búfalo.	47
Tabla 4.7 Rango relaciones de elementos traza y tierras raras para las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo (superior e inferior, respectivamente).....	69
Tabla 4.8 REE de las rocas fuentes y el cálculo de mezclas de las secciones Sierra Anibacachi (arriba) y sección Rancho Búfalo (abajo).	72

Resumen

El presente trabajo consiste en el análisis de dos secciones estratigráficas de la Formación Morita, localizadas en dos áreas de estudio, la primera sección se localiza en la parte norte de Sonora, al suroeste de la Ciudad de Agua Prieta, dicha sección estudiada fue nombrada Sierra Anibacachi; la segunda sección estudiada se encuentra en la parte nororiente del estado de Sonora, cercana al municipio de Fronteras, esta sección ha sido nombrada como Rancho Búfalo. La sección Sierra Anibacachi tienen una longitud de 1020 m mientras que la sección Rancho Búfalo tiene una longitud de 975 m, sin embargo los espesores de ambas secciones estudiadas en este trabajo son de aproximadamente 565 m y 855 m, respectivamente..

Un total de 35 muestras fueron recolectadas y analizadas para la sección Sierra Anibacachi, por otra parte, de la sección Rancho Búfalo se tomaron 28 muestras para su estudio, ambos grupos de muestras fueron analizadas por óxidos mayores, elementos traza y elementos de tierras raras. Además, dos muestras fueron tomadas en la sección Sierra Anibacachi y tres en Rancho Búfalo, para fechamientos por decaimiento U/Pb de zircones detríticos así como geoquímica de zircones. Por último, 20 muestras fueron preparadas como láminas delgadas para su estudio petrográfico mediante la técnica de conteo de puntos.

A partir de la composición de las areniscas obtenida por la petrografía, estas areniscas son clasificadas como litarenita feldespática, litarenita, sublitarenita y arcosalítica. Las areniscas de ambas secciones presentan cuarzo como su principal componente. Además, los resultados obtenidos en el análisis modal y diagrama ternario sugieren que las muestras caen en el campo de orógeno reciclado,

Los contenidos geoquímicos obtenidos en ambas secciones fueron normalizados con los valores de UCC de Taylor y McLennan (1985) para óxidos mayores y trazas, mientras que los valores para elementos tierras raras se normalizaron usando los valores de condrita de McDonough and Sun (1995).

Los valores obtenidos mediante el índice de alteración química (CIA: 40-88 y 44-91, para Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo, respectivamente), el índice de alteración de plagioclasas (PIA: 39-99 y 34-96), así como el diagrama ternario A-CN-K ($Al_2O_3 - CaO + Na_2O - K_2O$) indican una variada intensidad de intemperismo químico en el área de origen, desde baja a alta.

Diagramas de marcos tectónicos mediante función discriminante de óxidos mayores presentan pequeñas variaciones entre ambas secciones, para Sierra Anibacachi las muestras se encuentran dispersas en los tres campos distintos señalando marcos tectónicos de colisión, arco y rift siendo el primero el predominante; en el caso de Rancho Búfalo, solo se encuentran en los campos de arco y colisión, siendo en este caso predominante un marco tectónico de arco.

Patrones de elementos tierras raras normalizadas a condrita, diagramas bivariados en base a las relaciones como La/Sc, Th/Sc, Th/Co, La/Co y Eu/Eu* y el diagrama ternario La-Th-Sc, así como contenidos de elementos traza en muestra total y en zircón sugieren que estas areniscas derivaron principalmente de rocas félsicas, así como también de una fuente cuarzosa en el diagrama de función discriminante de óxidos.

La geocronología de U-Pb en zircones detríticos de Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo muestra 4 principales poblaciones de edades (1) Proterozoico; (2) Paleozoico; (3) Triásico y (4) Jurásico. También se tienen zircones Arqueanos en dos de las muestras estudiadas. Además de un zircón del Cretácico (Aptiano), señalando esta misma edad como la edad máxima de depositación para la parte superior de la Formación Morita. Zircones del Proterozoico pueden provenir de los granitoides del bloque Caborca al noroeste de Sonora, así como de las rocas metamórficas e intrusivas del bloque de Norteamérica al noreste del estado; además de los granitoides del cinturón Grenvilliano; los zircones del Pérmico-Triásico pueden haberse derivado de los granitoides de esas edades que afloran en el noroeste de Sonora, suroeste de EUA y en el arco del noreste de México en los estados de Chihuahua y Coahuila; los zircones del Jurásico fueron derivados del arco volcánico continental del noroeste de México, sur de Arizona y sur de California; por último, zircones del Cretácico fueron derivados principalmente del Arco Alisitos del Cretácico temprano que posicionaba al oeste del área de estudio antes de la apertura del Golfo de California.

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES

1.1 Introducción

El estado de Sonora cuenta con una amplia diversidad de rocas y edades de rocas, haciendo de este territorio un lugar complejo para su estudio, por lo cual ha sido el objetivo de estudio de diversos investigadores de distintas ramas geológicas. La complejidad en la región es producto de diversos factores de carácter geológico, entre los cuales se encuentra su litología ya que podemos encontrar afloramientos que incluyen una amplia variedad de tipos de rocas, y que abarcan un rango de edad muy amplio que va desde el Mesoproterozoico hasta el presente (Iriondo y Premo, 2011), con una amplia variedad de eventos geológicos, desde volcánicos, tectónicos, procesos sedimentarios, y eventos metamórficos. Mismas que han sido afectadas por eventos ígneos, y metamórficos.

Numerosos trabajos y estudios se han realizado en cada una de las eras geológicas que afloran en esta región, siendo el Cretácico quizá el periodo más estudiado, especialmente desde el campo de la estratigrafía. Durante el Cretácico, la Cuenca Bisbee llegó a ocupar una amplia extensión de los estados de Sonora, Arizona y Nevada; dicha cuenca se cree que inició su proceso de formación durante el Jurásico Tardío, producto de mecanismos de tectónica extensional (Bilodeau, 1982; Dickinson *et al.*, 1989; Dickinson y Lawton, 2001). La Cuenca Bisbee fue rellenada por diversos procesos y eventos sedimentarios que depositaron diferentes unidades, este relleno sedimentario se conoce como Grupo Bisbee, el cual se depositó durante el Jurásico Tardío- Cretácico Temprano (Ransome, 1904).

Los distintos procesos y ambientes que provocaron el relleno de la cuenca iniciaron durante el Jurásico Tardío, el primero de estos fue un ambiente de depósito fluvial, dando lugar al depósito de los conglomerados y areniscas del Conglomerado Glance, cuyos clastos varían en composición en sus distintos afloramientos en el estado (Grijalva-Noriega, 1995). Posteriormente, durante el Cretácico (Aptiano) los ambientes de depósito cambiaron a ambientes fluviales y litorales, debido a una transgresión marina procedente del actual Golfo de México, dando origen a las areniscas y limonitas de la Formación Morita (Hayes, 1970; de Cserna, 1971; Rangin, 1978; Jamison, 1987). Más tarde, durante el Aptiano-Albiano se presenta la mayor transgresión marina del Cretácico en Sonora, depositando así a la Caliza Mural. Esta se formó de un ambiente marino carbonatado somero. Un hecho interesante, es que dentro de este gran evento transgresivo del Golfo de México se tienen registrados 3 eventos transgresivos-regresivos de menor magnitud, produciendo de esta forma la alternancia de rocas carbonatadas y detríticas característica de esta Formación (Dickinson *et al.*, 1986; González-León *et al.*, 2008). Finalmente a

causa de la gran regresión marina se depositaron las areniscas y limonitas que constituyen a la Formación Cintura (Hayes, 1970; Klute, 1991).

Dentro de la literatura geológica existen una gran cantidad de referencias bibliográficas acerca del Grupo Bisbee, las cuales tienen distintos enfoques; ya sea tectónicos, estratigráficos, paleontológicos, entre muchos otros. Aunque es importante señalar la escases de trabajos relacionados al estudio de este grupo a partir de un enfoque geoquímico. Sin embargo, estos han venido en aumento, debido a la importancia de la información que aportan.

Dicha importancia recae en que los sedimentos de grano fino tienen una composición geoquímica particular de elementos traza, la cual se cree representa la composición promedio de la corteza continental superior (DaPeng *et al.*, 2012), conservando así información de su procedencia y su historia diagenética. En base a estas condiciones, diversos autores (Nesbitt y Young, 1982; Bhatia, 1983; Taylor y McLennan, 1985; Roser y Korsch, 1986; Condie *et al.*, 1992; Cullers, 1995; Madhavaraju y Ramasamy, 2002; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004) concluyeron que la composición geoquímica de las rocas sedimentarias clásticas puede ser usada para entender las condiciones de intemperismo del área fuente, su procedencia, y el marco tectónico de la cuenca sedimentaria.

La motivación de este trabajo de investigación, es la necesidad de aportar nuevos datos a los ya disponibles, con el objeto de incrementar el conocimiento sobre los procesos geológicos que prevalecieron durante la depositación de las rocas del Grupo Bisbee en la zona noreste del estado de Sonora, o en su caso encontrar explicaciones alternativas o diferentes a las ya existentes; de esta forma se tendrá un mayor conocimiento acerca de los procesos geológicos que tuvieron lugar durante el Cretácico, específicamente durante el Aptiano. Esto por medio de nuevas técnicas de estudio de las rocas sedimentarias, cambiando los métodos tradicionales a estas nuevas técnicas pero sin restarles importancia o relevancia a los conocimientos adquiridos previamente con ellas.

Esta investigación se llevó a cabo en dos áreas geográficas de estudio, las cuales se localizan en la región de Naco y Fronteras, ambas ubicadas en la parte noreste del estado de Sonora (Figuras 1.1 y 1.2, respectivamente).

1.2 Objetivo general

Este trabajo de tesis tiene por objetivo, ampliar la información previamente existente y de esta forma avanzar hacia un mayor entendimiento del desarrollo de la Cuenca Bisbee del Cretácico Inferior (Aptiano), y de los procesos involucrados en su relleno sedimentario. Aportar nuevos datos acerca de la procedencia de las areniscas de la Formación Morita, y determinar la intensidad con la que actuó el intemperismo químico sobre la roca fuente de las rocas detríticas estudiadas, identificar los marcos tectónicos que dieron origen a

las rocas fuentes, y determinar la posible dirección de transporte (escurrimiento) de los detritos de la Formación Morita en la Sierra Anibacachi” y “Rancho Búfalo”.

Por medio de diversas técnicas y herramientas: 1) análisis geoquímicos y su interpretación mediante el uso de modelos estadísticos, 2) análisis geocronológico de zircones y petrografía de láminas delgadas

Lo anterior con el fin de abordar nuestra temática desde distintas ramas de las ciencias geológicas y de esta forma obtener resultados aún más completos.

1.3 Objetivos Específicos

Mediante el manejo de datos sobre el contenido de elementos trazas determinar el protolito del cual se originaron las muestras de areniscas.

Analisis petrográfico de las muestras, acompañado con conteo de puntos y la graficacion de los datos obtenidos en diagramas para determinar procedencia y marco tectonico

Llevar a cabo fechamientos en zircones detríticos y agruparlos en poblaciones, con lo cual también se pretende ubicar las rocas con edades similares a estos zircones en la región.

1.4 Justificación

A diferencia de estudios anteriores enfocados mayormente hacia la estratigrafía, geología regional, entre otras ramas, en el presente estudio el enfoque está encaminado a determinar las condiciones ambientales de inteperismo, el origen de los sedimentos y los ambientes tectónicos de las rocas que dieron origen a los sedimentos que conforman el Grupo Bisbee. Es por eso que se aportaran nuevos conocimientos acerca de la Formación Morita en el noreste de Sonora. Se busca identificar por medio de la geoquímica de estas rocas clásticas y de su interpretación mediante nuevos modelos, las condiciones de paleointemperismo a las que se expuso la roca madre, produciendo los sedimentos formadores de las rocas clásticas de la región; también, conocer cuales fueron estas rocas, así como intentar ubicarlas en el espacio y tiempo mediante la paleogeografía y tectónica, siendo para esto de gran ayuda el uso de la geocronología de zircones sedimentarios y de petrografía de areniscas.

1.5 Localización y vías de acceso

Para llegar a la Sección ubicada en la Sierra Anibacachi (Figura 1.1), partiendo desde la ciudad de Hermosillo se llega por la carretera Federal No. 15 rumbo a Nogales por 180

Km, para después continuar por el tramo Magdalena de Kino-Ímuris de la misma carretera por aproximadamente 27 Km, posteriormente se tiene que tomar por aproximadamente 140 Km el tramo Ímuris-Cananea por la carretera Federal No. 2, donde se gira hacia la derecha por un camino vecinal y se continua por cerca de 18 km hasta llegar al área donde se ubica la sección.

Por otra parte, la sección Rancho Búfalo (Figura 1.2) se localiza en el municipio de Fronteras, en el área de Rancho Búfalo, en el extremo noreste del estado de Sonora. El Municipio de Fronteras se localiza a 250 km en línea recta desde Hermosillo hacia el noroeste, y a 40 km hacia el sur de Agua Prieta. Al área se puede llegar saliendo de Hermosillo tomando la carretera Federal No. 14 Hermosillo-Moctezuma por 163 km hacia el noroeste, antes de entrar al poblado de Moctezuma se gira a la izquierda y se tomará la carretera federal No. 17 Moctezuma-Nacozari de García por 140 km hacia el norte, y después hacia el poblado de Fronteras por la misma carretera, hasta llegar a un pequeño poblado llamado "Km 47". En éste se toma un camino de terracería hacia el Este, conectando el primer camino del pueblo hacia el sureste (izquierda) por 2 km, después se toma otro camino de terracería por 2.5 km que lleva hasta el Rancho Búfalo, lugar donde se encuentra la sección de estudio.

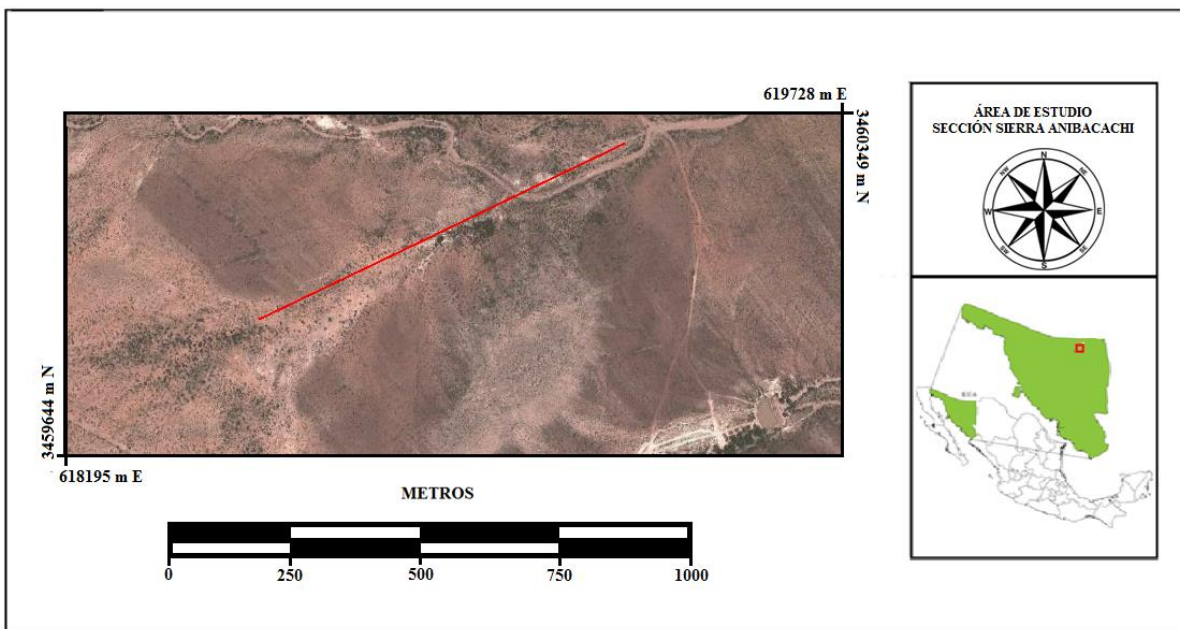


Figura 1.1 Localización de la sección estudiada en el área de estudio Sierra Anibacachi.

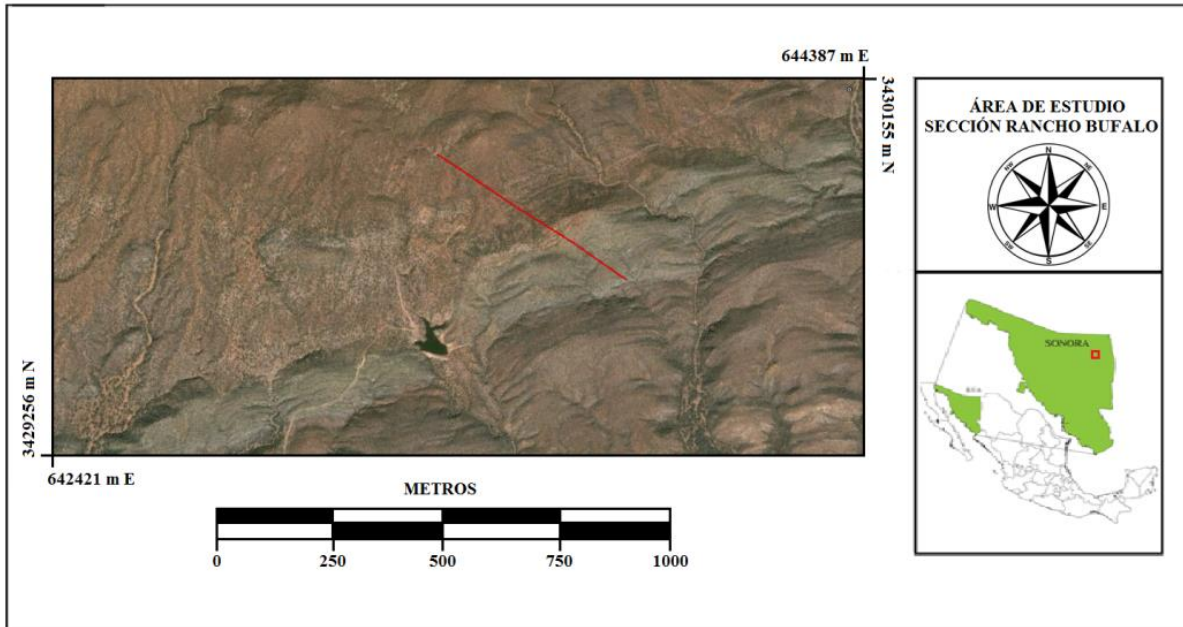


Figura 1.2 Localización de la sección estudiada en área de estudio Rancho Búfalo.

1.6 Antecedentes

El Cretácico Inferior de Sonora ha sido objeto de una amplia cantidad de estudios, ya sea estructurales, tectónicos, geofísicos, litoestratigráficos, bioestratigráficos, entre otros; los cuales han sido realizado en sucesiones estratigráficas expuestas en diferentes localidades, con el propósito de comprender los fenómenos paleotectónicos y paleogeográficos de la Cuenca Bisbee (Dumble, 1902; Ransome, 1904; Taliaferro, 1933; Arellano, 1956; Perez, 1986; Navarro, 1989; González-León y Jacques-Ayala, 1990; Rodríguez-Castañeda, 1991; Monreal, 1994; Jacques-Ayala, 1995; Nourse, 1995). Dichas sucesiones se han correlacionado a procesos similares entre el suroeste de Arizona y el noreste de Sonora. Uno de los primeros registros que se tiene de las descripciones del Cretácico en el noreste de Sonora, fue realizado por Aguilera (1888) quien cartografió al sur y oeste de Agua Prieta, un conjunto de rocas de caliza fosilífera, las cuales correlacionó con el Grupo Comanche de Texas. Esta secuencia descrita pertenece a la Caliza Mural del Grupo Bisbee propuesto por Dumble en 1902, quien describió y definió las rocas del sur de Arizona y las correlacionó con rocas similares de la zona de Santa Ana. Después, Ransome (1904), mencionó por primera vez una unidad de rocas conglomeráticas, a las cuales definió como Conglomerado Glance, y lo ubicó en la base del Grupo Bisbee, separándolo de la Formación Morita solamente en la parte suroeste de Arizona.

Taliaferro (1933) es el primero en determinar mediante estudios en Arizona y la parte noroeste de Sonora el ambiente de depósito del Grupo Bisbee; después Imlay (1939) en la Sierra del Tigre reportó una secuencia cretácica de arenisca y caliza, con fauna marina

del Aptiano-Albiano. Más tarde, Arellano (1956) sugirió una correlación de las rocas que afloran en Santa Ana con las del Grupo Bisbee; Salas (1968) erróneamente asignó el nombre de “Formación Represo” a la Caliza Mural (Monreal *et al.*, 1994).

Pérez-Ramos (1986), reporta por primera vez el fósil de rudista *Coalcomana ramosa* (Boehm) en el área de Cerro Pima, fósil índice que asigna a la Caliza Mural al Albiano temprano.

Jamison (1987), realizó un estudio de petrofacies en la Formación Morita en Arizona y noreste de Sonora, en dicho trabajo llevo a cabo un conteo de puntos para determinar la procedencia de las areniscas; dentro de sus resultados obtuvo que la mayoría de sus muestras eran rocas cuarzosas derivadas del bloque continental; sin embargo, dentro de sus resultados también encontró litoarenitas volcánicas, las cuales probablemente derivaron de arcos volcánicos localizados el oeste o suroeste de la Cuenca Bisbee.

Navarro (1989) realizó un estudio de la estratigrafía del Cretácico Inferior en el área de Santa Ana asociándolas a eventos tectónicos sindepositacionales, así como a cambios en el nivel del mar que controlaron la sedimentación de la paleocuenca Bisbee, reconociendo así tres unidades litoestratigráficas: a) Formación Morita, representada por alternancia de arenisca, lutita, limolita y conglomerado (localmente), las cuales representan un ambiente de depósito de planicie fluvial hasta un sistema marino costero, b) Caliza Mural, constituida por una alternancia de arenisca carbonatada, arenisca limolítica fina y caliza, y c) Formación Cintura, la cual es litológica y estratigráficamente similar a la Formación Morita, representada por una alternancia de arenisca, conglomerado y lutita.

González-León y Jacques-Ayala (1990), describiendo la extensión al suroeste de Arizona proponen el nombre de Cuenca de Sonora, donde describen los eventos paleotectónicos y especifican que los modelos carbonatados del margen continental se originaron asociados a un arco magmático contemporáneo, explicando así la extensión de la paleocuenca.

Rodríguez-Castañeda (1991) erróneamente le asigna varios nombres a la secuencia sedimentaria del Cretácico en la región de Tuape. Sin embargo, Monreal *et al.* (1994) con base en las reglas establecidas por Código Norteamericano de Nomenclatura Estratigráfica (1983; 2005), asigna dichas unidades al Grupo Bisbee y las correlaciona con secuencias estratigráficas en Sierra Azul, Cerro Bandera, Sierra el Tigre, Arizpe, Cerro de Oro, Santa Ana y Sierra el Chanate.

Jacques-Ayala (1995), realizó un trabajo en el área de Caborca-Santa Ana con el propósito de hacer una reconstrucción paleogeográfica del Cretácico Temprano, determinando que el Grupo Bisbee, según Ransome (1904), está constituido por cuatro unidades bien definidas en el estado de Sonora: 1) Conglomerado Glance, formado por una secuencia clástica de edad Jurásico Tardío (Neocomiano); 2) Formación Morita,

constituida por una secuencia de arenisca y lutita, las cuales fueron probablemente depositadas en un sistema de meandros de ríos y por corrientes de marea en ambientes transicionales; 3) Caliza Mural, compuesta en su mayoría por caliza intercalada con lutita y arenisca, y que representa la máxima transgresión durante el Cretácico Temprano; y 4) Formación Cintura, constituida por arenisca y caliza delgada, y que al igual que la Formación Morita, se le asigna un ambiente de planicie aluvial a ambientes transicionales, representando de este modo una fase regresiva del Grupo Bisbee.

El estudio de la reconstrucción paleogeográfica del Cretácico Temprano indicado por las facies carbonatadas someras (Aptiano- Albiano) del Grupo Bisbee y de secuencias correlacionables en Sonora, realizadas por Monreal (1995), determinaron que las condiciones estratigráficas de otras formaciones que afloran en el Este de Sonora presentan afinidad litoestratigráfica con sucesiones estratigráficas depositadas en la Cuenca de Chihuahua. Los afloramientos de las rocas del Grupo Bisbee se reconocen desde el sureste de Arizona hasta el centro y este de Sonora, siendo depositadas en una cuenca irregular con facies clásticas de mar somero, facies de sedimentos fluviales y facies carbonatadas de plataforma de aguas someras, estas últimas desarrolladas durante el Aptiano-Albiano.

También, Nourse (1995), determinó que las unidades estratigráficas del Mesozoico, representan una porción de un arco magmático Jurásico, el cual fue afectado por eventos tectónicos durante el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, estos eventos son señalados por los depósitos sintectónicos del Conglomerado Glance, cuyos afloramientos delimitan el borde noreste de la cuenca, determinando que esta misma se extendía más hacia el noroeste.

Lawton *et al.* (2004) determinaron la evolución estratigráfica y sedimentológica ocurrida durante el Aptiano tardío al Albiano temprano de la Caliza Mural, donde identificaron y correlacionaron seis miembros (informales): Cerro La Ceja, Lutita Tuape, Los Coyotes, Cerro la Puerta, Cerro la Espina y Mesa Quemada. Continuando con el estudio de esta cuenca, González-León *et al.* (2008), propone 8 miembros (informales) como parte de la Caliza Mural: Fronteras y Rancho Búfalo debajo del miembro Cerro La Ceja, así con la inclusión de estos dos miembros extras la evolución de la Caliza Mural está determinada por 3 eventos transgresivos-regresivos (González-León *et al.*, 2008).

Respecto a los estudios geoquímicos relacionados con el objetivo del presente trabajo, como se ha mencionado anteriormente, estos son escasos en el estado de Sonora, sin embargo el número de trabajos de este tema está incrementando, logrando así un mayor conocimiento acerca de este campo de las ciencias geológicas; Reyes en su trabajo de tesis (2008) realizó un análisis petrográfico y geoquímico de REE, trazas y óxidos mayores en Cerro Pimas en el área de Santa Ana al noroeste de Hermosillo, las muestras fueron tomadas de capas de caliza de la Caliza Mural, las cuales tienen un alto contenido de REE producto de una influencia deltaica-fluvial.

Madhavaraju *et al.* (2010) realizaron un estudio geoquímico de la Caliza Mural en las áreas de Cerro Pimas y Sierra San José, donde concluyeron que los materiales terrígenos incluidos en las rocas carbonatadas son principalmente derivados de rocas ígneas félsicas a intermedias; también mostraron una anomalía positiva de Eu, misma que probablemente es controlada por el contenido de feldespato; por otro lado, el elemento Ce mostró una variabilidad principalmente en los miembros de la Caliza Mural, lo que puede ser resultado de la inclusión de materiales terrígenos así como de coloides ricos en Fe de los ríos. Después, Madhavaraju y González-León (2012) llevaron a cabo un trabajo de investigación de elementos tierras raras (REE) en las capas de caliza de la Caliza Mural, del Cerro El Caloso Pitaycachi, donde sus resultados arrojaron anomalías positivas y negativas de Ce, esta variación estuvo controlada por la entrada de detritos y por procesos de retrabajamiento del sedimento en el fondo marino; también mostraron valores positivos de Mn* y bajos contenidos de U y U autigénico (U autigénico= Total U - Th/3) lo cual señala que estas capas de caliza se depositaron bajo ambientes óxicos.

Posteriormente, Madhavaraju *et al.* (2013) estudiaron la Caliza Mural en el área de Cerro Pimas, realizando estudios isotópicos de carbono, oxígeno y estroncio; donde los isótopos de oxígeno señalan una sepultura por diagénesis poco profunda.

Ramírez-Montoya (2014), estudió a los miembros informales de la Caliza Mural en una sección en el poblado de Tuape, los estudios geoquímicos fueron realizados en las lutitas que se encuentran intercaladas con las calizas, los análisis fueron hechos para REE, óxidos mayores, elementos traza y contenidos de arcillas minerales; los resultados aportados al conocimiento previo sugieren que las condiciones de oxigenación van desde óxicas hasta anóxicas en dos miembros (Lutita Tuape y Cerro La Puerta); la procedencia de los detritos de estas rocas era un protolito de características félsicas, teniendo también aporte de fuentes de carácter intermedio (en el caso de la Lutita Tuape); todos los miembros estudiados en esta sección arrojaron el mismo resultado en cuanto a sus condiciones de paleointemperismo, habiendo sufrido la roca fuente un intemperismo físico con una intensidad moderada; por último los paleoclimas que se presentaban en la región presentaban variaciones de áridos a tropicales.

Saucedo-Samaniego (2015) estudió a la Caliza Mural de Rancho Búfalo, donde realizó análisis geoquímicos, geocronología de zircón y petrografía en las muestras de arenisca de tres miembros informales de esta Formación, donde sus resultados fueron: un intemperismo bajo a moderado en la región de origen, también señaló que la fuente de los detritos formadores de las areniscas eran previamente parte de rocas félsicas y en menor cantidad rocas intermedias; petrográficamente señaló que la clasificación de estas areniscas son litarenitas, sub-litarenitas y arcosa lítica, colocándolas principalmente en el campo de orógeno reciclado; por último, en base a sus poblaciones de zircón, las agrupó en 5 tipos: (1) Proterozoico; (2) Paleozoico; (3) Triásico; (4) Jurásico; y (5) Cretácico Temprano.

CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 Desarrollo paleogeográfico

La antigua cuenca Bisbee ubicada en el noreste de Sonora, sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México, se desarrolló durante el Jurásico-Cretácico, esta cuenca tuvo dimensiones generales de 300 km por 400km. El relleno de la cuenca durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano dio como origen la depositación del Grupo Bisbee (González-León, 1994).

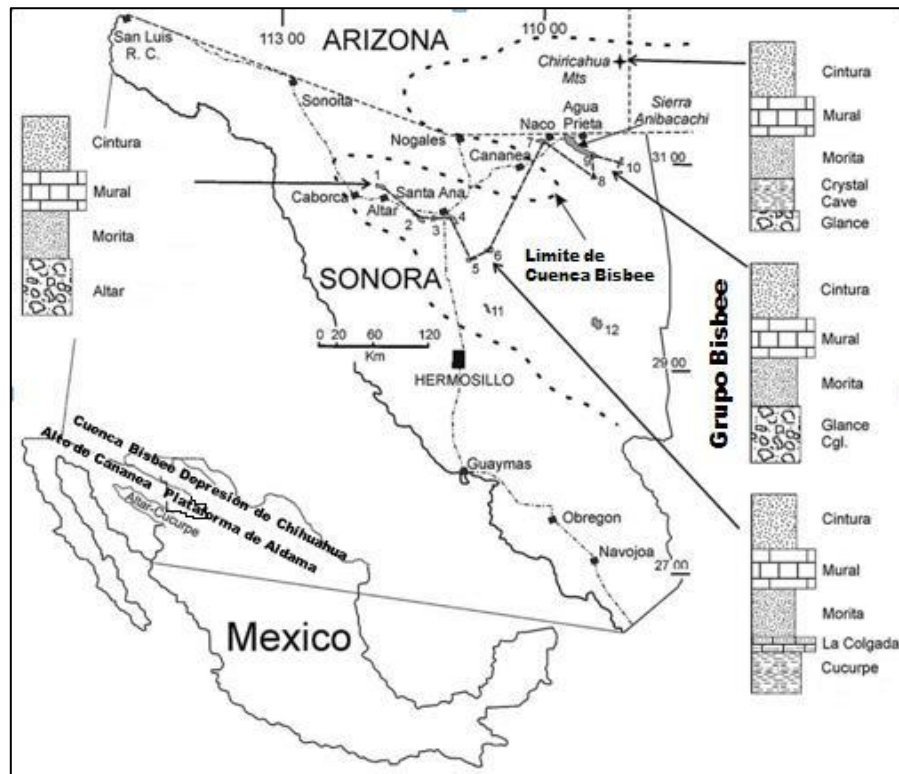


Figura 2.1 Correlación estratigráfica y delimitación paleogeográfica de la Cuenca Bisbee durante el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano en el suroeste de Arizona y noroeste de Sonora. Modificado de González-León et al. (2008).

Tanto la cuenca Chihuahua como la cuenca Bisbee fueron controladas por mecanismos estructurales así como fenómenos tectónicos de distensión (Bilodeau, 1982). Aun no se tiene claro cuales fueron dichos fenómenos que dieron origen a estas cuencas, Dickinson et al. (1986), buscan comprender los mecanismos tectónicos que dieron origen a la Cuenca Bisbee, para ello se analizan varios posibles escenarios tectónicos de dicha cuenca; entre los cuales se encuentran los modelos de “extensión por aulacógeno”

(Pindell, 1985); “extensión por Megacizalla” (Klitgord *et al.*, 1984) y de “extensión por 3 placas” (Pindell, 1985).

Dickinson *et al.* (1986), basados en la sedimentología, estratigrafía y relaciones estructurales del Conglomerado Glance unidad basal del Grupo Bisbee, creen que la subsidencia dentro de la Cuenca Bisbee inició por procesos extensionales de rift, que se prolongaban a lo largo de la ruptura de depositación a través de la Cuenca Chihuahua hacia la depresión del Golfo de México. Se infiere que la subsidencia termotectónica seguida de la extensión de rift permitió la transgresión marina del Golfo de México dentro de las regiones subyacidas por adelgazamiento de la corteza continental debajo de la Cuenca Chihuahua y la Cuenca Bisbee. Debido al rift del Mesozoico medio y a la expansión del piso marino en el Golfo de México (el cual fue un brazo del sistema del Océano Atlántico), la Cuenca Bisbee es vista como una proyección del rifting relacionado al Atlántico hacia el cinturón del Circum Pacifico.

Contemporáneo a esto se tuvo una transgresión procedente de la costa este de México, la cual inundó la Cuenca Chihuahua (Haenggi, 2002). En la cuenca Bisbee en primer lugar se depositó el Conglomerado Glance producto de los ambientes sedimentarios que originó la apertura de este rift (Bilodeau, 1979; Bilodeau y Lindbergh, 1983; LeMone *et al.*, 1983), posteriormente la invasión marina sobrepasó a la Cuenca Chihuahua y empezó a tomar terreno en la Cuenca Bisbee, produciendo un ambiente deltaico y depositando la arenisca y limolita que conforman a la Formación Morita. Posteriormente, en el Aptiano tardío, se presentó la máxima transgresión, donde el agua marina llegó a cubrir la cuenca Bisbee hasta el actual área de Caborca, dando como resultado un ambiente de plataforma somera, recorriendo el ambiente deltaico más hacia el oeste fuera de la cuenca y depositando en ella rocas carbonatadas de la Caliza Mural. Durante este periodo de máxima transgresión se presentaron tres ciclos de transgresión-regresión (González-León *et al.* 2008). Por último, el agua marina nuevamente comienza a retirarse produciendo la última gran regresión y trayendo consigo a la cuenca Bisbee nuevamente un ambiente deltaico y fluvial, depositando de este modo arenisca y lutita de la Formación Cintura (Figura 2.2), poniendo con esto fin al relleno sedimentario de la Cuenca (Monreal, 1995; Monreal y Longoria, 2000; González-León *et al.* 2008).

Las rocas volcánicas debajo e intercaladas con el Conglomerado Glance representan el límite interior de la actividad magmática, la cual seguía activa a los 155 Ma (Kluth *et al.*, 1982), aunque no tardaría en disminuir antes de reanudarse en el Neocomiano a una distancia incierta hacia el suroeste. Áreas continentales emergentes se establecerían hacia el norte y hacia el este. Por otro lado, hacia el sureste, las aguas marinas de la Cuenca Chihuahua estaban directamente conectadas con el recientemente formado Golfo de México. La subsidencia de la Cuenca Chihuahua comenzó antes de la aparición de los amonitas en el Jurásico Medio-Tardío, y su aparición puede ser posterior o coincidente con la expansión del piso marino durante el Calloviano tardío en el Golfo de México (Dickinson *et al.*, 1986).

Durante el Jurásico Tardío, la cuenca Bisbee (sureste Arizona) y la cuenca Altar-Cucurpe (norte central Sonora) se encontraban paralelas, la separación entre estas cuencas la constituía el alto Cananea (McKee y Anderson, 1998).

El Alto de Cananea fue un elemento paleogeográfico que existió desde el Jurásico Tardío (McKee, 1991) hasta el Cretácico Temprano (estudio de procedencia de areniscas de la Formación Morita y Cintura realizado por Klute, 1991). Este alto estructural era constituido por rocas ígneas y volcanoclásticas que representan unidades asociadas al arco Jurásico continental en Arizona y Sonora.

Grijalva-Noriega (1995), realizó un estudio donde el enfoque principal de su trabajo se basó en el análisis material del Conglomerado Glance, principalmente en la composición de los clastos que lo forman; en base a esto los dividió en dos grupos de afloramientos: oriental y occidental, separados por el Alto de Cananea. Dentro del grupo oriental en Sonora incluyó a Sierra Anibacachi, el área de rancho El Culantrillo y La Ceniza, siendo las primeras dos, las regiones donde se ubican las secciones estudiadas en este trabajo; por otra parte el grupo occidental sonoreense está compuesto por Planchas de Plata, y las Sierras el Pinito y El Chanate.

Con base en las unidades estratigráficas de este grupo, se puede concluir que la Cuenca Bisbee se originó como un rift representado por el conglomerado Glance, y que posteriormente evolucionó debido a los cambios del nivel del mar, en los cuales se hace notar un gran evento transgresivo evidenciado por la Caliza Mural, misma que se divide en tres eventos transgresivos-regresivos y cubre gran parte del norte de Sonora, hasta Caborca (García y Jacques, 2011). Para finales del Albiano se tuvo una regresión regional acompañada de algunos periodos cortos de transgresiones locales, esta regresión se le atribuye al levantamiento tectónico e inicio de una orogenia cuyas evidencias se reportaron en la porción centro-oriental de Sonora (González-León *et al.*, 2008).

El Conglomerado Glance es de suma importancia para el entendimiento de la evolución tectónica hacia la formación de la Cuenca Bisbee; tanto en Sonora como en Arizona el Conglomerado Glance y otros conglomerados correlacionables, se localizan estratigráficamente sobre secuencias volcánicas del Jurásico Medio y sobre el basamento Proterozoico y Paleozoico (Grijalva-Noriega, 1995; Rodríguez-Castañeda y Anderson, 2010). La importancia de esta unidad conglomerática recae en que es un importante indicador de cambio en el contexto tectónico; es decir de un ambiente de arco magmático en el Jurásico Medio se pasó a uno de fallamiento y creación de cuencas durante el Jurásico Tardío (Kluth *et al.*, 1982; Bilodeau *et al.*, 1987; Tosdal *et al.*, 1989).

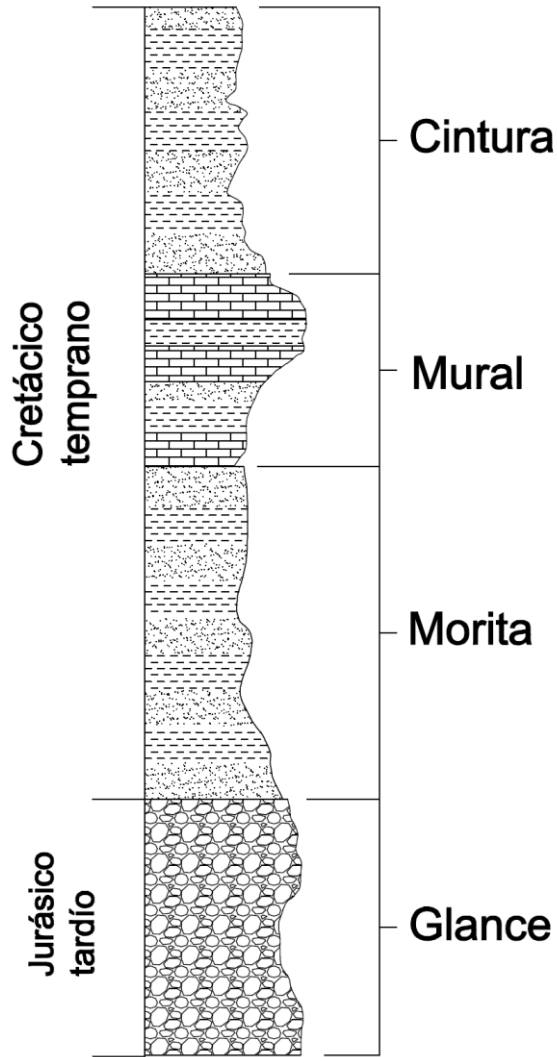


Figura 2.2 Columna estratigráfica de las 4 Formaciones representativas del Grupo Bisbee, de la base a la cima: Conglomerado Glance, Formación Morita, Caliza Mural y Formación Cintura.

2.2 Geología Local

2.2.1 Precámbrico

El Precámbrico en el área de estudio está formado por el Esquisto Pinal (Figura 2.3) compuesto de un conjunto de grauvacas metamorizadas, filitas y flujos de lavas de edad 1.6-1.7 Ga (Anderson y Silver, 1977; Anderson y Schmidt, 1983; Keep, 1996). El Esquisto Pinal se encuentra intrusionado en los alrededores por dos etapas de plutonismo granítico posteriores a 1650 ± 25 y 1450 ± 25 Ma (Anderson *et al.* 1979). Los plutones más antiguos consisten de cuarzo dioritas y cuarzo monzonitas con texturas equigranulares, mientras que la segunda fase representado por el Granito Cananea la cual es más abundante consiste de un magmatismo que evoluciona de granodioritas a

granitos (Valentine, 1936). El Granito Las Mesteñas (Figura 2.4), también intrusiona al Esquisto Pinal, este último presenta una textura porfídica y al que se le asigna una edad similar al Granito Cananea (Anderson *et al.* 1979).



Figura 2.3 Afloramientos del Esquisto Pinal en el área de estudio.



Figura 2.4 Afloramientos del Granito Mesteñas en el área de estudio.

2.2.2 Paleozoico

El Cámbrico medio está representado por la Cuarcita Bolsa (Figura 2.5); Ransome (1904) define con este nombre a rocas del Cámbrico medio. La parte inferior de la Cuarcita Bolsa ha sido reconocida como conglomerática con una matriz feldespática tendiendo gradualmente a hacerse más arenosa hacia arriba, los clásticos están bien redondeados

y algunos son subangulares. La litología del área se compone de rocas sedimentarias, dentro de las cuales se encuentran conglomerados, areniscas, lutitas, lodolitas y calizas. Posteriormente en el Cámbrico superior se encuentran unas calizas las cuales son nombradas como Caliza Abrigo (Ransome, 1904), a las calizas que sobreyacen a la Cuarcita Bolsa. También (Gilluly, 1937), les determinó una edad del Cámbrico superior por su contenido faunístico, representado principalmente por *Cedano*, *Crepicephalos*, *Aphelaspis*, *Elvinia* y *Conaspis*. Después se tiene un hiato hasta el Devónico donde se depositó la Caliza Martin la cual fue propuesta por Ransome (1904) para una sección de calizas compactas de color gris oscuro, en la que se encuentran algunos fósiles braquiópodos, entre ellos *Atrypa Reticularis* y *Spirifer Mungerfordi*, ocasionalmente se presentan algunas capas de lutitas calcáreas. Para el Misisípico, Ransome (1904), Propuso él termino Caliza Escabrosa para una sección de rocas calcáreas granulares de estratificación gruesa, que presentan un color de casi blanco a gris oscuro, su localidad tipo se encuentra en la Sierra Escabrosa en Arizona; diversos autores (Gilluly,1937; Gilluly *et al.*, 1954), reconocieron como fauna representativa en la Caliza Escabrosa, en el sureste de Arizona los siguientes fósiles: *Fenestella*, *Spirifer*, *Schuchertella*, *Chonetes*, *Linoproductus*, *Rhipidomela* y *Punctospirifer*. Por ultimo en el Pensilvánico, Ransome (1904), definió a las calizas de edad Pensilvánica que sobreyacen a la Caliza Escabrosa, el espesor ha sido estimado en más de 900 metros, el Grupo Naco está dividido en cuatro formaciones, que en orden estratigráfico son: La Caliza Horquilla, La Formación Earp, La Caliza Colina y La Dolomita Epitaph.



Figura 2.5 Afloramiento de la Cuarcita Bolsa cercano a la región de Fronteras.

2.2.3 Mesozoico

El Jurásico Superior y Cretácico Inferior del área está representada por el Grupo Bisbee, el cual por ser el tema principal de este trabajo cuenta con un apartado más adelante, motivo por el cual no será resumido en esta sección. Posteriormente, en el Cretácico Superior se encuentra presente el Grupo Cabullona. Taliaferro (1933), menciona que este grupo está formado por una serie de sedimentos detríticos continentales y marinos con una pequeña cantidad de material piroclástico hacia la parte superior. De este grupo se han colectado algunos fósiles, tanto de vertebrados continentales como de invertebrados marinos. Este grupo se ha dividido en cinco formaciones que se mencionan a continuación: “Conglomerado Snake Ridge”, “Areniscas Camas”, “Lutitas Packard”, “Capas Rojas Superiores” y “Tobas Riolfíticas” (Figuras 2.6 Ay B), de éstas las únicas que afloran en la zona es el Conglomerado Snake y algunas rocas volcánicas como las Tobas Riolfíticas (Taliaferro, 1933; González-León y Lawton, 1995; Lucas *et al.*, 1995; González-León, 2010).



Figura 2.6 A) Capas de arenisca y limolita de origen fluvial de la Arenisca Camas del Grupo Cabullona, región de Naco-Cananea. **B)** Lutitas negras de origen lacustre de la Lutita Packard (Grupo Cabullona, Cretácico Tardío) en la región de Naco-Cananea. Modificada de González-León, 2010.

2.2.4 Cenozoico

El Terciario se define con el nombre de Intrusivo Santa Rosa, este es un stock que se encuentra en la parte Este del área y toma el nombre de la mina de ese lugar, este stock afecta principalmente a la Caliza Mural y a la Formación Cintura, la primera de las cuales constituye la Sierra del Caloso. También se encuentra representado por rocas ígneas extrusivas como basalto, toba y riolita (Roldán y Solano, 1978).

2.3 Grupo Bisbee

2.3.1 Conglomerado Glance

Esta formación se encuentra bien expuesta en el norte de Sonora y sureste de Arizona. Ransome (1904), menciona por primera vez esta unidad y la ubica en la base del Grupo Bisbee, su localidad tipo se localiza en el cuadrante de Bisbee, cerca de la mina Mule en Arizona.

La edad del Conglomerado Glance no ha sido bien definida, en las montañas Chiricahua en el extremo sureste de Arizona, se le asigna al Calloviano; en las colinas Canelo, también en Arizona, edades isotópicas lo sitúan en el Jurásico Tardío (Bilodeau *et al.* 1987; Marvin *et al.* 1978; Kluth *et al.* 1982). En la sierra El Chanate, Kluth *et al.* (1982) realizaron dataciones por el método Rb/Sr, asignando a esta formación una edad de 151 Ma, con lo cual la establecieron en el Jurásico Tardío (Tithoniano).

La composición del Conglomerado Glance es variable, dependiendo del área en que se encuentre; en el noroeste de Sonora en la sierra de Anibacachi y cerro Cabullona está representado por guijas y cantos angulares a subangulares, pobremente clasificados, de rocas volcánicas jurásicas, y en menor proporción del Esquisto Pinal y fragmentos de caliza y cuarcita del Paleozoico (González-León, 1994). En Caborca, aflora al norte de la sierra El Chanate (Jacques-Ayala, 1992, 1993), es una unidad verde, masiva, con estratos delgados de arenisca verde de grano grueso a mediano, los clastos son redondeados a angulares y consisten principalmente de fragmentos silicificados de grano fino de diferentes tonalidades: verdosa, rojiza, negra y gris claro. La matriz es una arenita lítica. Localmente su espesor es relativamente delgado, ya que no pasa de 21 m.

Mediciones de paleocorrientes en estratificaciones cruzadas sugieren que la fuente de estos conglomerados fue un arco volcánico riolítico, cuya ubicación es probable se encontrara hacia el sur (Jacques-Ayala, 1993).

El Conglomerado Glance se depositó en abanicos aluviales, así como en sistemas fluviales trenzados y meándricos. Se han encontrado depósitos marinos correlacionables en el área de Cucurpe, y la escasez y distribución de estos depósitos sugieren incursiones

marinas a lo largo de bloques fallados e invadidos por aguas marinas (García y Jacques, 2011). Rosales-Domínguez *et al.* (1995) en el rancho Culantrillo, ubicado 40 km al sur de Agua Prieta, encontraron que la parte superior del Conglomerado Glance contiene lentes delgadas de caliza con ostrácodos, los cuales resultaron muy útiles para determinar un paleoambiente lacustre. En la sierra el Chanate también se determinó un ambiente fluvial, la predominancia de areniscas sobre conglomerado sugieren una distancia media desde la fuente. Las rocas volcánicas intercaladas en el Conglomerado Glance sugieren la presencia de actividad volcánica de frecuencia moderada (Jacques- Ayala, 1992).



Figura 2.7 Afloramiento del Conglomerado Glance en Sierra Anibacachi, la mayor parte de sus clastos están compuestos por fragmentos de calizas Paleozoicas y del Esquisto Pinal.

2.3.2 Formación Morita

La localidad tipo de la Formación Morita reportada por Ransome (1904), se localiza en el cerro La Morita, cerca de Agua Prieta, y se define como una alternancia de capas de lutita de color café rojizo y arenisca roja y gris, con capas de arenisca conglomerática de granos angulosos y lentes de caliza impura.

Jamison (1987) llevo a cabo un estudio en un el sureste de Arizona y noreste de Sonora describe que la Formación Morita presenta una intercalación de capas de arenisca, lutitas, lodolitas y capas locales de conglomerados, arcillas y limos, con un espesor de 400 a 1300 m y la presencia de madera fósil en algunas localidades.

En otro afloramiento ubicado en el puerto El Álamo, Willard (1988) la describió con un espesor de 440m. En éste, la lodolita es masiva y localmente incluye nódulos calcáreos. También presenta intercalaciones menos importantes de arenisca de grano fino, gris a gris púrpura y un conglomerado rojo, en lentes de menos de 5 m de espesor. La parte superior consiste en limolita púrpura gris rojizo, arenisca parda de grano mediano a grueso, en estratos delgados a gruesos, con lo cual constituye localmente una transición en la base de la Caliza Mural. El depósito de la Formación Morita tuvo lugar en planicies de marea, deltas y corrientes meándricas.

En los cerros Cabeza Colgada, 5km al sur de El Ocuca, la Morita forma cerros relativamente altos y redondeados. Jacques-Ayala (1993) estimó un espesor de 800 m para esta formación, la cual consiste en lodolita rojo a rojo púrpura, en estratos gruesos a masivos, y localmente muestra estratificación muy delgada.

En la sierra El Chanate presenta una estratificación cruzada bimodal, indicando una línea de costa de dirección noroeste que influyó en el depósito de los sedimentos de esta unidad, la fuente alimentadora se encontraba al noreste o suroeste de la sierra El Chanate (Jacques-Ayala, 1992,1993).

Por otra parte, en la localidad de Cerro de Oro, la Formación Morita tiene un espesor de 260 m y presenta capas delgadas a gruesas de lodolitas, lutitas y areniscas de grano fino y algunos lentes locales de conglomerados (Monreal, 1994).

En el área del rancho Culantrillo, Rosales-Domínguez *et al.* (1995), mencionan que la Formación Morita incluye en la parte media un horizonte de tobas híbridas, lo cual implica un volcanismo cercano durante el Aptiano, quizá relacionable con el magmatismo del arco reportado en la sierra El Chanate (Jacques-Ayala, 1989). En la cima de la unidad, se encuentran carofitas, *Microcalamoides ornatus* y abundantes ostrácodos. Se interpreta que el ambiente de depósito de la Formación Morita fue una planicie fluvial o de mareas, además que al presentar una coloración rojiza y grietas de desecación sugiere un ambiente subaéreo. El ciclo de cambio de grano hacia arriba de la arenisca, y la lodolita con el predominio de la fracción de grano más fino, sugieren un ambiente fluvial meándrico. La estratificación cruzada en la arenisca muestra una orientación suroeste-noroeste bimodal, sugiriendo que la línea de costa tenía una orientación noroeste-sureste, con la fuente de sedimentos hacia el noreste. Por último, la presencia de capas de caliza con ostreas indica una incursión marina durante el Aptiano (Rosales-Domínguez *et al.* 1995).

Además, Monreal *et al.* (2011) realizan un estudio del Grupo Bisbee en el área al sur de la Sierra Basómari, ubicada en el noreste de Sonora. En dicha área de estudio el espesor de la Formación Morita es de solo 30 m, sin embargo es solo la parte superior de la unidad por lo cual no pudieron identificar su espesor real; por último concluyen que el ambiente de depósito para la Formación Morita en esa área es principalmente marino nerítico de

aguas someras de intermarea a submarea, así como marino marginal con el desarrollo de un sistema deltaico (Figura 2.8).

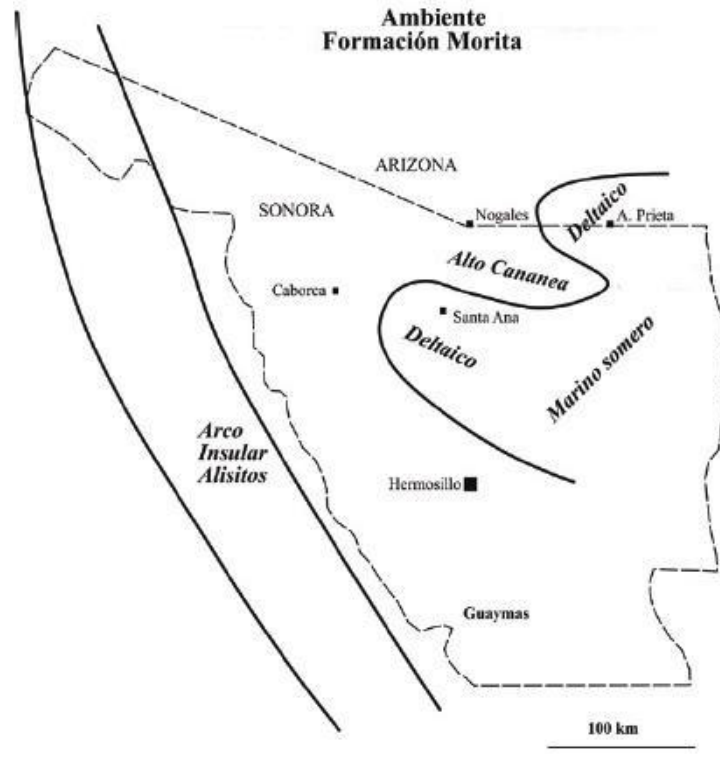


Figura 2.8. Distribución de los ambientes de deposición de la Formación Morita. Modificado de Monreal et al. (2011).

2.3.3 Caliza Mural

La Caliza Mural ha sido la formación más estudiada del Grupo Bisbee en los últimos años. El primer reporte de estas calizas fue hecho por José Guadalupe Aguilera a fines del siglo XIX (1888), quién cartografió un conjunto de calizas fosilíferas al sur y oeste de Agua Prieta, las cuales posteriormente serían identificadas como la Caliza Mural por Ransome (1904). La localidad tipo de esta formación se encuentra en Mural Hill a 3 km al este de Bisbee, Arizona (Ransome, 1904).

En los alrededores de Santa Ana, las calizas fueron definidas por Salas (1968), quien erróneamente las denominó como formación Represo, la cual está constituida por una secuencia terrígeno-carbonatada cuyo afloramiento típico se localiza en las cercanías de rancho El Represo.

Pérez-Ramos (1986) con base en el rudista *Coalcomana ramosa* asignó esta formación al Albiano temprano. Posteriormente en la sierra El Chanate, Jacques-Ayala (1992),

apoyado por estudios paleontológicos amplía el rango anteriormente definido asignándole una edad de Aptiano tardío- Albiano.

La Caliza Mural se encuentra sobreyaciendo a la secuencia de limolita y arenisca de la Formación Morita y la sobreyacen lutitas y areniscas de la Formación Cintura. El depósito de las rocas de la Caliza Mural tuvo origen en un ambiente marino de plataforma de aguas someras con aportes terrígenos (zona de transición), delimitada por lagunas abiertas y restringidas hasta la zona de acumulación de corales y rudistas, amonitas, bivalvos, gasterópodos y foraminíferos planctónicos, siendo esta afectada por tres eventos transgresivos-regresivos produciendo una alternancia de arenisca, producto de márgenes fluviales y deltaicos (Reyes-Campero, 2008).

Lawton *et al.* (2004), realizaron un trabajo bioestratigráfico detallado de la Caliza Mural en el norte-centro de Sonora. Aunque algunas de las localidades reportadas por ellos ya habían sido estudiadas por otros investigadores, en su trabajo informalmente propusieron nuevos miembros para la Caliza Mural, con base en la identificación de micro y macro fósiles, además también propusieron otra interpretación de los ambientes de depósito para esta formación. De acuerdo a Lawton *et al.* (2004), en el norte-centro de Sonora, la Caliza Mural está representada por ocho miembros informales. En orden ascendente estos miembros son: Fronteras, Rancho Búfalo, Cerro La Ceja, Lutita Tuape, Los Coyotes, Cerro La Puerta, Cerro La Espina y Mesa Quemada. Los primeros dos miembros de acuerdo a su contenido fosilífero señalan la edad de Aptiano tardío, mientras que los 4 miembros restantes abarcan desde el Aptiano tardío hasta el Albiano medio-tardío (Figura 2.9).

Lawton *et al.* (2004), mencionan que la Caliza Mural fue depositada en entornos que van desde la planicie costera hasta la plataforma abierta. El agudo contacto del miembro basal Cerro La Ceja con la Formación Morita indica que la transgresión marina fue acompañada por costas de erosión, este miembro fue depositado en ambientes de planicie costeras, marino-marginal y marino superficial; el miembro Lutita Tuape indica una abrupta profundización de la cuenca, la depositación euxínica se encuentra registrada por los cortos intervalos de lutita negra y fauna de amonitas; el miembro Los Coyotes señala de nuevo un ambiente somero con bioclastos depositados por oleaje; el miembro Cerro La Puerta marca una nueva profundización debido a la presencia de lutitas negras similares a las del miembro Lutita Tuape; el miembro Cerro La Espina registra un ambiente somero marino; por último el miembro Mesa Quemada muestra ambientes marino superficial, estuarios y planicies costeras asociados a la fase terminal de la regresión de depósito de la Mural.

González-León *et al.* (2008) le añaden dos miembros nuevos: Fronteras y Rancho Búfalo. Estos dos miembros hasta ahora únicamente han sido reportados en las inmediaciones del rancho Búfalo, cerca de 40 km al sur-sureste de Agua Prieta, Sonora; en este trabajo (González-León *et al.*, 2008) describen los ambientes de depósito de los miembros

Fronteras y Rancho Búfalo donde señalan la primera gran transgresión marina. El miembro Fronteras fue depositado en ambiente marino superficial; mientras que el miembro Rancho Búfalo es de origen fluvial.

Monreal *et al.* (2011), dividen a la Caliza Mural que aflora en el área de Sierra Basómari en dos ambientes; en la parte inferior el ambiente de depósito fue un ambiente marino nerítico interior de intermarea y marino nerítico medio con desarrollo de condiciones lagunares y de bancos ooidales en ciertos intervalos, esto en base a la presencia de calizas fosilíferas con ostreas, fragmentos de equinodermos y moluscos, miliólidos, así como de calizas ooidales y arenisca con estratificación cruzada; mientras que en la parte superior las rocas representan ambientes variables, desde marino nerítico costero interior, nerítico medio con desarrollo de lagunas, nerítico exterior y hasta pelágico, indicado por la presencia de espinas de equinodermos, moluscos, miliólidos, corales, gasterópodos, orbitolínidos, calpionélidos y foraminíferos planctónicos.



Figura 2.9 Afloramiento de caliza del miembro Fronteras dentro de la Caliza Mural en Rancho Búfalo, Fronteras, Sonora. (Tomado de Saucedo-Samaniego, Julio, 2015).

2.3.4 Formación Cintura

La Formación Cintura ha sido descrita en las Montañas Mule cerca de Bisbee, Arizona por Ransome (1904) y Viveros (1965), como una alternancia de arenisca de color gris a gris verdoso y lutita de color rojo con algunas capas de caliza gris.

Esta formación es el resultado de una etapa regresiva durante la evolución de la cuenca Bisbee en el Albiano medio, depositada en un mar somero, en ambientes deltaicos y planicies aluviales (Hayes, 1970; Klute, 1991; Jacques-Ayala, 1992-1993; Grijalva-

Noriega, 1996). Pero además dentro de esta etapa regresiva, tuvo lugar una intrusión marina relativamente menor, como lo han reportado González-León (1994), en el área de Arizpe, y García y Barragán (2003) al norte de la sierra de San Antonio, Sonora nort-central.

En el noreste de Sonora, aproximadamente 20 km al sureste de Agua Prieta, Grijalva-Noriega (1996), realizó un estudio detallado de la Formación Cintura, en base a este estudio el autor informalmente dividió esta formación en 3 miembros: en la base, se encuentra el miembro Marquechi, en la parte media, el miembro San Marcos y en la cima el miembro San Juan. El espesor total de la formación en esta área es de 1,146m.

El contacto entre la Formación Cintura y la subyacente Caliza Mural es transicional: algunos estratos de limolita de color rojo mediano o limolita calcárea corresponden con la base de la Formación Cintura.

2.4 Áreas de estudio

2.4.1 Estratigrafía de la Formación Morita sección Sierra Anibacachi

La Formación Morita en la sección Sierra Anibacachi tiene un espesor de 560 m. Se encuentra sobreyaciendo discordantemente a lodolitas-limolitas moradas con capas intercaladas de paleosuelos y nódulos calcáreos de la parte superior del Conglomerado Glance. En su parte superior gradúa a lutitas calcáreas y calizas con bivalvos marinos de la Caliza Mural (Figura 2.10 A).

La Morita consiste de sucesiones cíclicas superpuestas de arenisca, luita y limolita, con espesores de 15 a 60 m los cuales son interpretados como un origen fluvial. La parte inferior de cada sucesión se compone de un paquete de arenisca de hasta 10 m de espesor con base erosiva, donde las capas mayores a 1 m de espesor tienen comúnmente estratificación cruzada y planar. Una capa basal de conglomerado de menos de 80 cm de espesor, con superficies de acreción lateral puede a veces estar presente en algunas capas de areniscas. Sobreyaciendo a las areniscas basales se tienen paquetes de lutitas y limolitas de hasta 50 m de espesor; comúnmente de colores rojizos a purpuras y con bioturbación local. Dentro de las lutitas y limolitas se intercalan capas de arenisca de grano fino a medio, con laminación paralela y bioturbación local, de hasta 50 cm de espesor; las limolitas y lutitas tienen comúnmente capas menores de 50 cm de espesor con nódulos calcáreos de origen pedogénico. Los 145 m más superiores de esta formación en la Sierra Anibacachi, están dominados por lutitas y limolitas purpuras, rojizas y verdosas, masivas a localmente laminadas, que tienen intercalaciones de capas lenticulares de areniscas de grano fino menores a 40 cm de espesor y con nódulos calcáreos pedogénicos subordinados a algunos intervalos, y restos de madera fósil (Figuras 2.11 y 2.12).

2.4.2 Estratigrafía de la Formación Morita sección Rancho Búfalo

La Formación Morita en la sección Rancho Búfalo tiene 855 m de espesor y sobreyace a una sección de 120 m de espesor de lutitas, limolitas y calizas bioclásticas de la Formación Cerro de Oro, la cual a su vez sobreyace discordantemente al Conglomerado Glance. La parte superior de la Formación Morita se encuentra en contacto gradacional con calizas bioclásticas del Miembro Rancho Búfalo de la Formación Mural (Figura 2.10 B).

En su parte inferior la Formación Morita consiste de un intervalo de 5 m de espesor de capas de arenisca de grano grueso a guijarrosas que gradúan hacia arriba a paquetes de 10 m de espesor de lutitas-limolitas masivas purpuras con intercalaciones menores de areniscas de grano medio a grueso. El resto de la formación está compuesta por sucesiones cíclicas superpuestas de 5 a 130 m de espesor, que son interpretadas como de origen fluvial. Estas sucesiones consisten en su parte inferior de cuerpos lenticulares de conglomerados guijarrosos amalgamados con base erosiva y capas de arenisca con estratificación cruzada de hasta 10 m de espesor, y que gradúan a grano fino hacia su cima. Los conglomerados están mal clasificados y presentan clastos subredondeados sostenidos.

Los conglomerados y arenisca basales gradúan hacia arriba a lutitas y limolitas masivas a localmente laminadas, rojizas a purpura que se vuelven de colores gris a verdosos hacia la parte superior de la formación. Intercaladas con las lutitas y limolitas se tienen capas delgadas a medianas de areniscas rojizas lenticulares de grano medio a fino, con estratificación cruzada planar, laminación planar y bioturbación local. En la parte inferior de la formación varias capas de tobas de hasta 20 cm de espesor fueron observadas en un intervalo a 180 m por encima de la base de la sección (Figuras 2.11 y 2.12).



Figura 2.10 A) Afloramiento de la Formación Morita en Sierra Anibacachi (Izquierda), **B)** afloramiento de la Formación Morita en Rancho Búfalo (Derecha).

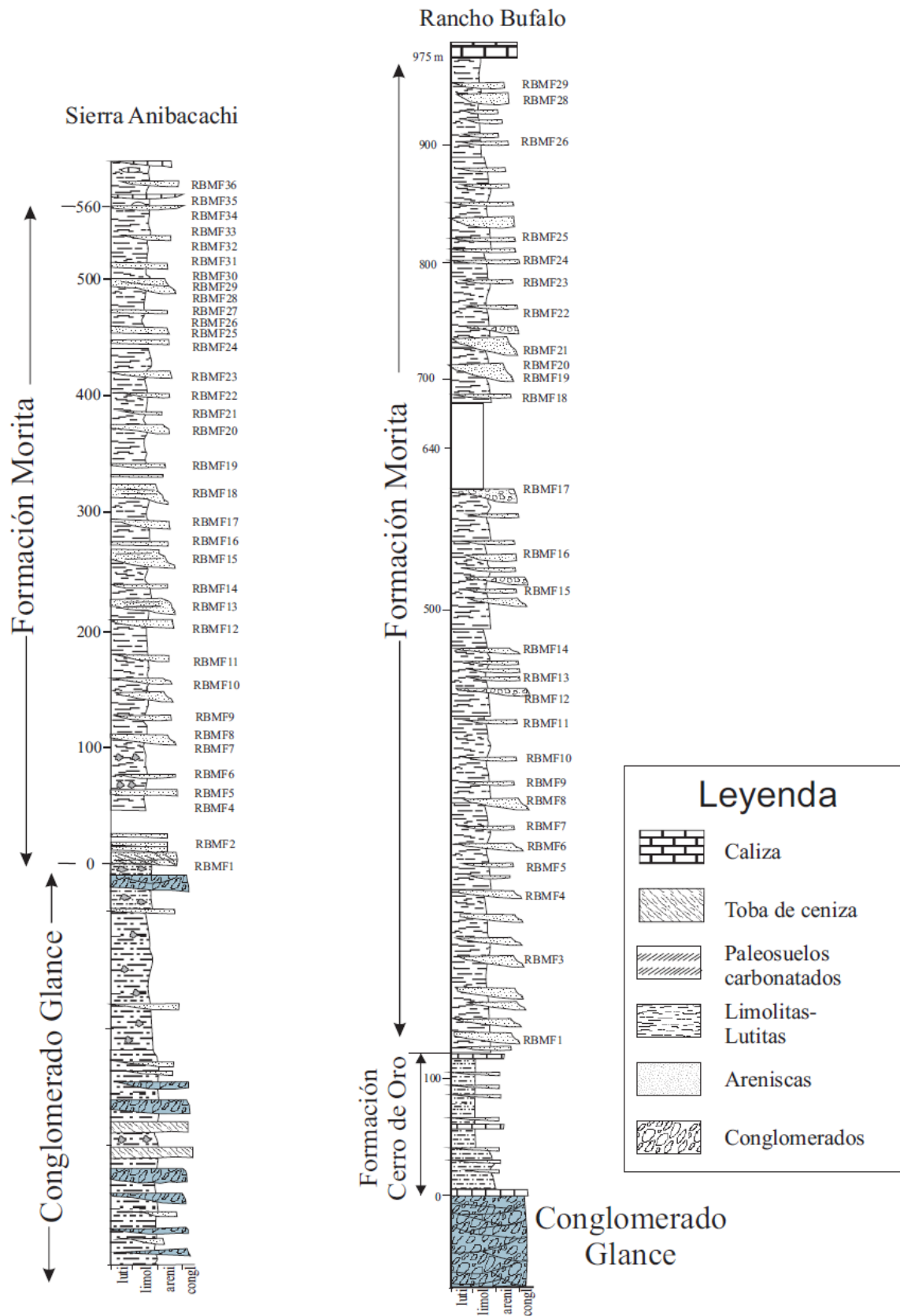


Figura 2.11 Columnas estratigráficas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo.

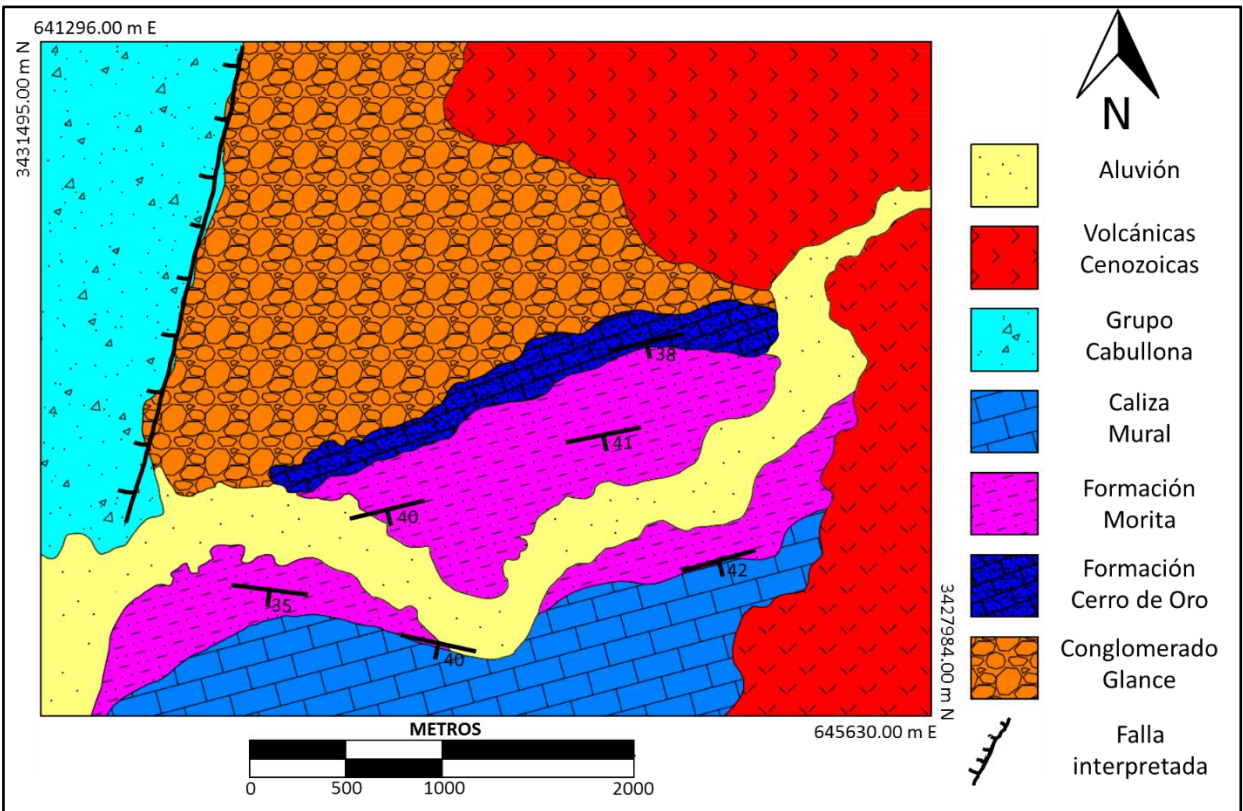
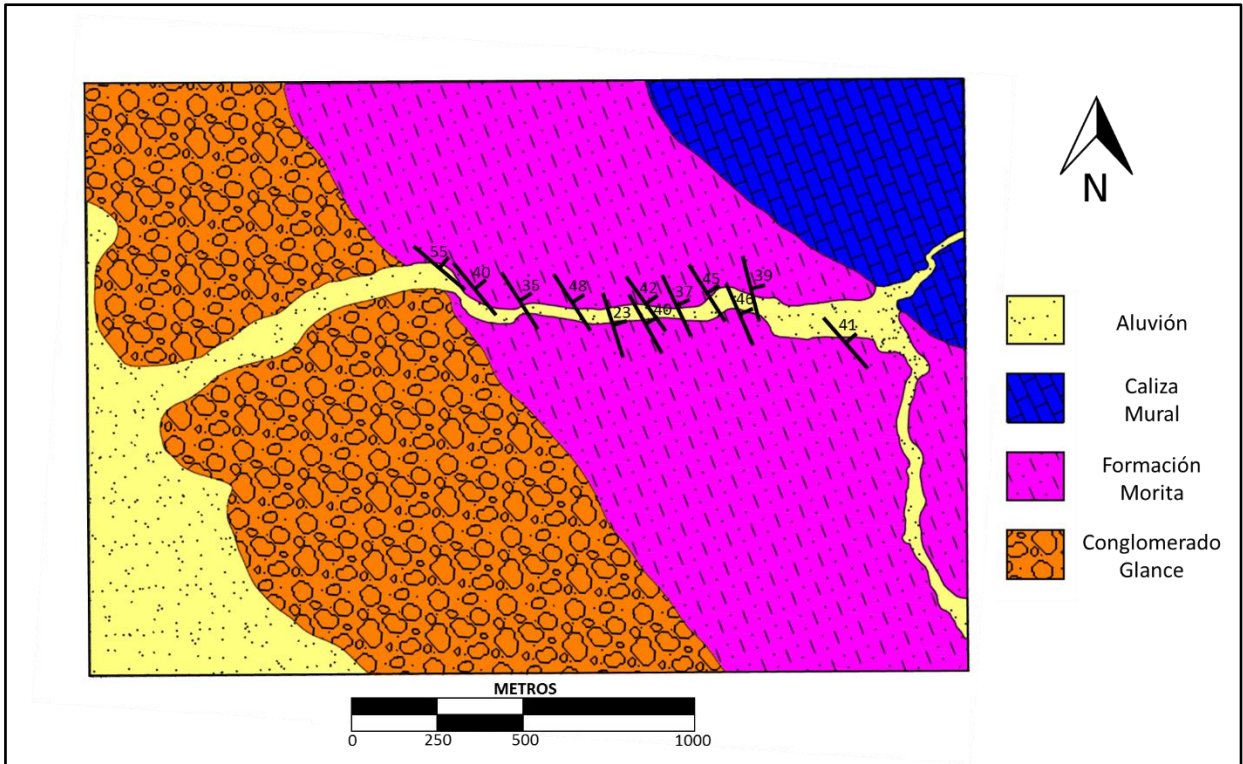


Figura 2.12 Mapas geológicos de las áreas de Sierra Anibacachi (arriba) y Rancho Búfalo (abajo).

CAPÍTULO 3. PETROGRAFÍA

3.1 Introducción

La petrografía de rocas clásticas es una herramienta útil para determinar y discriminar la procedencia y composición de las áreas fuente (Arribas y Arribas, 1991), así como también permite obtener una aproximación de la ubicación y composición de las rocas madres (Dickinson, 1970; Blatt *et al.*, 1972; Pettijohn *et al.*, 1987; Dickinson *et al.*, 1983). Distintos autores encontraron una relación muy estrecha entre la composición de las areniscas y el marco tectónico al que se asocian las grandes cuencas sedimentarias donde se depositan. La composición final de las rocas siliciclásticas está influenciada y puede ser modificada por diversos factores: la composición del área fuente, el tamaño y arreglo de la región de origen, la dirección y distancia de transporte, el relieve y morfología de la cuenca, el clima, el tipo específico de roca sedimentaria, y por último la diagénesis que modifica y altera su composición final (Blatt, 1967; Suttner *et al.*, 1981; Ricci-Lucchi, 1985; Pettijohn *et al.*, 1987; Johnsson, 1993; Cox y Lowe, 1995; Weltje *et al.*, 1998). Por lo tanto, la distribución y composición de areniscas están controladas por eventos geológicos y ambientales como, la diagénesis, los procesos ocurridos por la tectónica de placas y los paleoclimas, debido a que estos dictan la relación entre los terrenos de origen y la evolución de las cuencas (Dickinson y Suczek, 1979; Basu, 1985; Suttner *et al.*, 1981; McBridge, 1985).

En particular, diversos autores sugieren que la composición de las areniscas está relacionada con el marco tectónico donde fueron depositadas (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson *et al.*, 1983; Mack, 1984; Valloni, 1985). Por este motivo, la simple descripción petrográfica de varios tipos de granos de cuarzo puede ser utilizada para este propósito (Folk, 1974; Blatt *et al.*, 1980; Asiedu *et al.*, 2000). De esta manera, Crook (1974) fue el primero en hacer uso de composiciones de areniscas para entender el marco tectónico. Posteriormente, Young (1976) propone definir la procedencia con base en la determinación de las características petrográficas solamente del cuarzo. Después de esto, se han intentado crear modelos más refinados para entender la procedencia (Dickinson and Suczek, 1979; Suttner *et al.*, 1981; Dickinson *et al.*, 1983; Weltje *et al.*, 1998; Weltje, 2002; Basu, 2003).

Por lo tanto, para desarrollar los modelados de interpretación de procedencia y marcos tectónicos, es necesario realizar un estudio petrográfico cuantitativo de areniscas.

3.2 Metodología

Un total de 10 láminas delgadas para la sección Sierra Anibacachi y 10 láminas delgadas para la sección Rancho Búfalo fueron estudiadas por medio de microscopios petrográficos “Olympus BX-50 y Olympus BX-51” mediante la técnica de conteo de puntos, utilizando un contador modelo “Swift” con capacidad para contar hasta 12 objetos distintos; para este estudio se utilizó el lente de 10x de aumento en la mayoría de las muestras (Figura 3.1). Las muestras seleccionadas para este estudio fueron areniscas de grano medio para lograr un conteo de mejor calidad, un total de 350 puntos se contabilizaron para cada lámina estudiada. Se utilizó el “*Método Gazzi-Dickinson*” para el análisis de conteo de puntos (Ingersoll *et al.*, 1984) para limitar la dependencia de los detritos de los tamaños de granos. Un espaciador de conteo de 0.66 mm fue usado para areniscas de grano medio. Lo datos procesados y sin procesar son presentados en la Tabla 3.1 y 3.2.



Figura 3.1 Microscopio Olympus BX-51 y contador Swift.

Tabla 3.1 Análisis composicional en porcentaje de las areniscas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo; de donde: Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, K: granos de feldespato potásico, P: plagioclasas, Lm: líticas metamórficas, Ls: líticas sedimentarias, Lvf: líticas volcánicas con textura félsica, Lvm: líticas volcánicas con textura micro lítica, Lvl: líticas volcánicas con textura lathwork.

Muestra/ Clasto	Qm	Qp	K	P	Lm	Ls	Lvf	Lmv	Lvl	Mica	Matriz	Cem.	Total
SA													
SAMF 5	66.5	0.0	8.0	1.1	0.2	0.2	21.1	0.0	0.0	0.5	0.0	2.0	100
SAMF 10	62.8	2.8	9.7	2.5	0.2	0.2	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	100
SAMF 13	69.6	2.0	6.8	1.2	0.0	0.0	19.8	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	100
SAMF 18	72.3	0.0	3.2	1.4	0.5	0.0	22.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	100
SAMF 20	60.6	0.0	16.5	3.4	0.5	0.0	18.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	100
SAMF 23	68.5	2.8	2.5	0.8	0.0	0.8	22.2	0.0	0.0	1.1	0.0	0.8	100
SAMF 25	72.5	4.8	4.8	0.2	0.0	1.7	15.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100
SAMF 29	71.1	2.0	10.2	0.2	0.0	0.0	15.7	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	100
SAMF 30	67.3	2.1	8.6	1.4	0.2	0.5	18.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.9	100
SAMF 35	67.9	1.8	7.8	1.4	0.2	0.4	19.1	0.1	0.0	0.4	0.0	0.7	100
RB													
RBMF 4	59.2	1.8	16.8	3.2	0.4	0.5	18.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	100
RBMF 8	58.6	2.0	18.2	2.1	0.0	0.0	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	100
RBMF 14	50.0	4.0	17.7	1.4	0.8	0.8	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	100
RBMF 16	54.2	0.8	16.5	3.1	0.2	1.1	23.3	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	100
RBMF 17	60.2	1.4	17.1	2.2	0.0	0.0	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
RBMF 20	61.0	1.0	18.1	2.8	0.0	0.5	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
RBMF 23	61.2	1.2	15.8	2.9	0.1	0.6	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	100
RBMF 25	63.6	1.1	15.0	3.4	0.0	1.0	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	100
RBMF 26	57.8	1.7	16.9	2.6	0.2	0.7	19.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	100
RBMF 27	62.1	0.9	15.6	2.8	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	100

Tabla 3.2 Parámetros contabilizados recalculados al 100% del total de la roca. Análisis petrográfico de las areniscas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo, de donde: Qt: cuarzo total, F: feldespatos, L: líticas; Q: cuarzo monocristalino, F: feldespatos, Lt: lítico total.

Muestra	QtFL (%)			QFLt (%)		
	Qt	F	L	Q	F	Lt
SAMF 5	69	9	22	69	9	22
SAMF 10	68	12	20	65	12	23
SAMF 13	72	8	20	70	8	22
SAMF 18	73	4	23	73	4	23
SAMF 20	61	20	19	61	20	19
SAMF 23	73	3	24	70	3	27
SAMF 25	78	5	17	73	5	22
SAMF 29	74	10	16	72	10	18
SAMF 30	70	10	20	68	10	22
SAMF 35	71	9	20	69	9	22
RBMF 4	61	20	19	59	20	21
RBMF 8	61	20	19	59	20	21
RBMF 14	54	19	27	50	19	31
RBMF 16	55	20	25	54	20	26
RBMF 17	62	19	19	60	19	21
RBMF 20	62	21	17	61	21	18
RBMF 23	63	19	18	61	19	20
RBMF 25	65	19	16	64	18	18
RBMF 26	60	19	21	58	19	23
RBMF 27	63	19	18	62	19	19

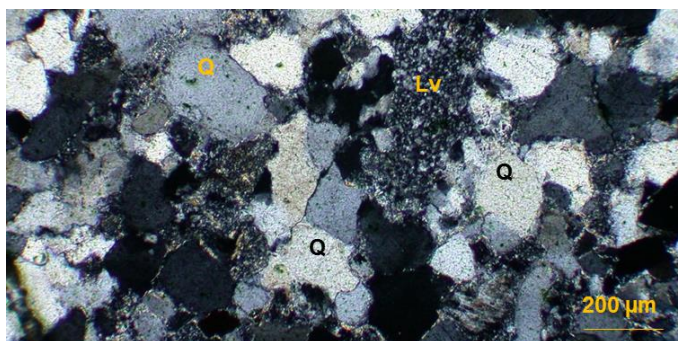
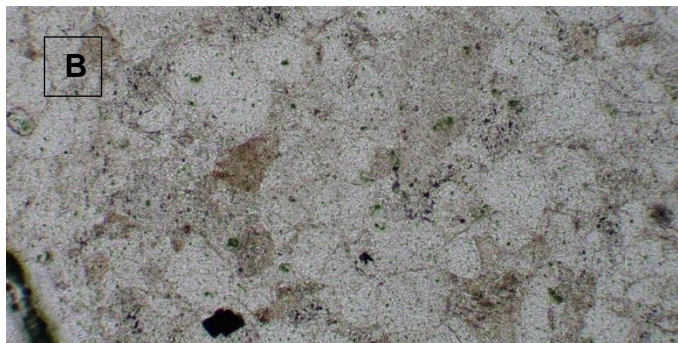
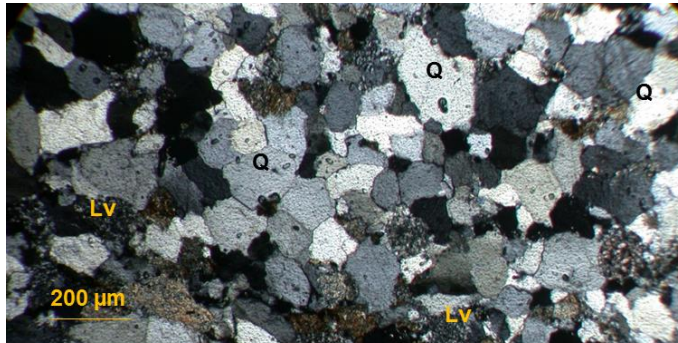
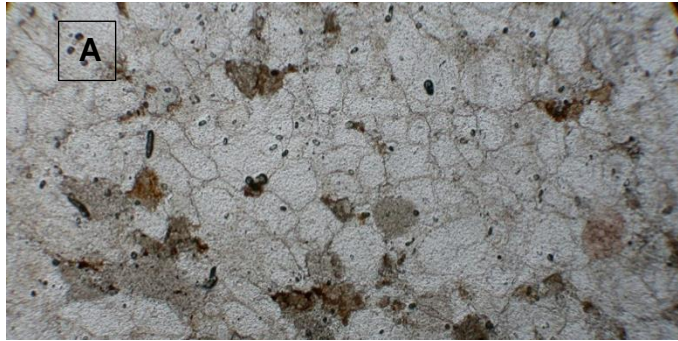


Figura 3.2 Lámina delgada de las muestras de Sierra Anibacachi. A) muestra SAMF 29, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo). B) muestra SAMF 25, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo).

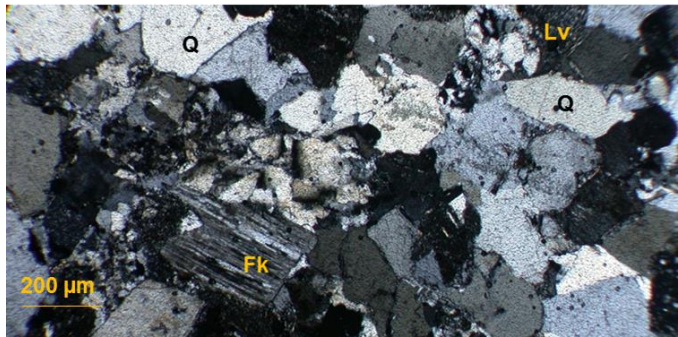


Figura 3.3 Lámina delgada de las muestras de Rancho Búfalo. A) muestra RBMF 14, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo). B) muestra RBMF 17, luz natural (arriba) y luz polarizada (abajo).

3.3 Resultados

En la sección Sierra Anibacachi las areniscas presentaron un mayor contenido de cuarzo que las muestras de Rancho Búfalo (60.6%-72.5% y 50%-63.6, respectivamente), ambas secciones presentan muy poco contenido de cuarzo policristalino (<4.8%), en el caso de la sección Sierra Anibacachi las muestras presentan grano sostenido, y los contactos entre estos son rectos, longitudinales y convexos. Cementante silíceo, como sobre crecimiento sintaxial en granos de cuarzo, llena los espacios intergranulares. La matriz observada es muy escasa, pero localmente los granos líticos están comprimidos, dando una apariencia de matriz. Se puede dificultar identificar granos líticos, especialmente los de grano fino, dado que las láminas muestran mucha alteración de los granos. Los principales componentes de ambas secciones son cuarzo monocristalino, fragmentos líticos, en su gran mayoría de rocas volcánicas félsicas, y plagioclasas. El principal componente de ambas muestras es el cuarzo, sin embargo, como se mencionó anteriormente las muestras de la Sierra Anibacachi presentan mayores contenidos que las de Rancho Búfalo; de igual forma, para ambas secciones los fragmentos líticos (volcánicos) son los segundos sedimentos más abundantes, con cantidades similares entre ambas secciones; por último, los clastos de feldespatos son el tercer componente principal, pero es notorio el mayor contenido de estos en la sección de Rancho Búfalo en comparación con los de Sierra Anibacachi (Tabla 3.1).

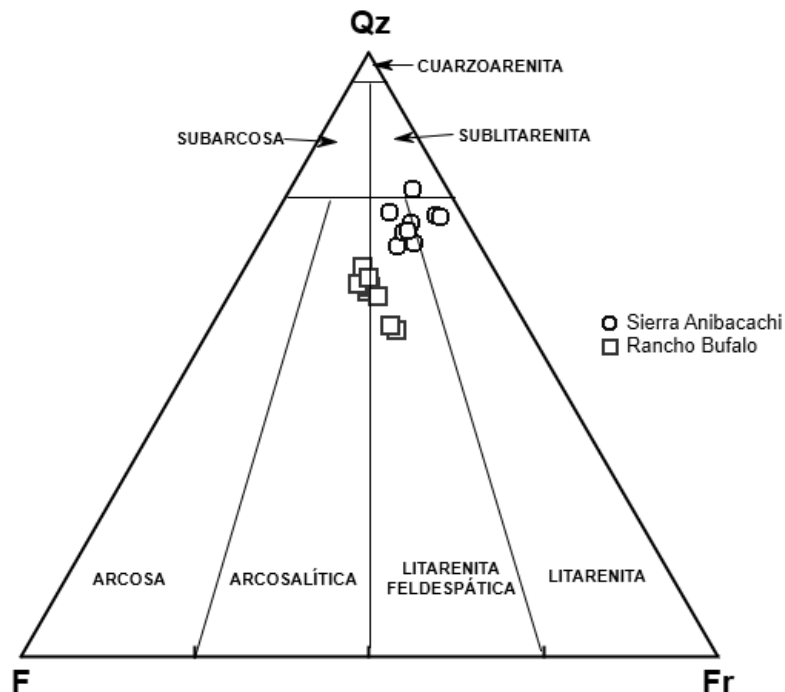


Figura 3.4 Diagrama de clasificación ternario de areniscas (Folk, 1980) de la Formación Morita de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo, donde, Qz: cuarzo total, F: feldespatos, Fr: fragmento de roca (líticos).

En este estudio, se clasificaron las areniscas con base en un análisis modal de conteo de puntos del arreglo granular (Tabla 3.2) y el porcentaje de volumen es obtenido del diagrama de Folk (1980, Figura 3.4). Basado en este último, las areniscas son clasificadas como cuarzoarenita, sublitarenita, litarenita, litarenita feldespática, subarcosa, arcosa y arcosa lítica. Las areniscas contienen una relativa mayor proporción de cuarzo monocristalino que cuarzo policristalino, esta relación refleja la madurez de los sedimentos y rocas sedimentarias, debido a que la cantidad de cuarzo policristalino tiende a reducir con el reciclaje e intemperismo (Basu, 1985). Las areniscas de la sección Sierra Anibacachi, se encuentran en los campos de litarenita feldespática y litarenita, además de una muestra en el campo de sublitarenita; por otra parte las areniscas de la sección Rancho Búfalo caen dentro de los campos para arcosa lítica y litarenita feldespática (Figura 3.4).

Varios autores relacionen a las areniscas con ambientes tectónicos de depósito (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson et al, 1979, 1983), además de que este mismo influye en la sedimentación, diagénesis y composición de los sedimentos (Pettijohn *et al.*, 1972; Bhatia, 1983; Chamley, 1990). Dado que las areniscas de distintos regímenes tectónicos presentan diferentes características de componentes detríticos entre sí, es posible mediante el uso de los datos petrográficos determinar los marcos tectónicos de dichas areniscas. Para la caracterización de la procedencia de areniscas se utilizaron los diagramas ternarios Qt-F-L y Qm-F-Lt (donde Qt es contenidos de cuarzo total, F es feldespato, L es granos líticos Qm es cuarzo monocristalino y Lt líticos totales) de Dickinson *et al.* (1983), en los cuales se relaciona la composición de las areniscas con el ambiente tectónico. En estos diagramas de Dickinson *et al.* (1983), las areniscas son divididas en campos de composición dependiendo de su concentración de Qt-F-L (cratón interior, continental transicional, basamento levantado, orógeno reciclado, arco disectado, arco transicional y arco sin disectar) con especial énfasis en la madurez de las areniscas y Qm-F-Lt (cratón interior, continental transicional, basamento levantado, cuarzoso reciclado, mixto, transicional reciclado, arco disectado, arco transicional, arco sin disectar y lítico reciclado) con especial énfasis en el origen de la roca madre.

Los datos graficados a partir del análisis modal de areniscas en el diagrama ternario Qt-F-L de Dickinson *et al.* (1983) muestran un comportamiento similar para ambas secciones, ya que la totalidad de las muestras de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo se ubican en el campo asignado para orógeno reciclado (Figura 3.5); mientras que en el diagrama ternario Q-F-Lt de Dickinson *et al.* (1983), por un lado las areniscas de la sección Sierra Anibacachi son graficadas en el campo de cuarzo reciclado y las de la sección Rancho Búfalo en el campo Mixto (Figura 3.6)

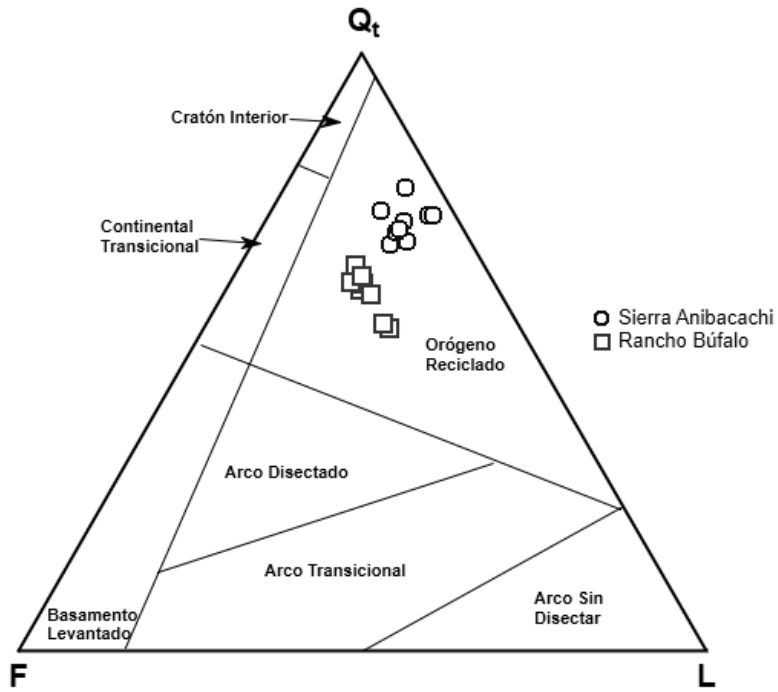


Figura 3.5 Esquema de Proveniencia de Areniscas de acuerdo con Dickinson (1983) de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo. Donde Q_t = Cuarzo total, F = feldspatos, L = líticos.

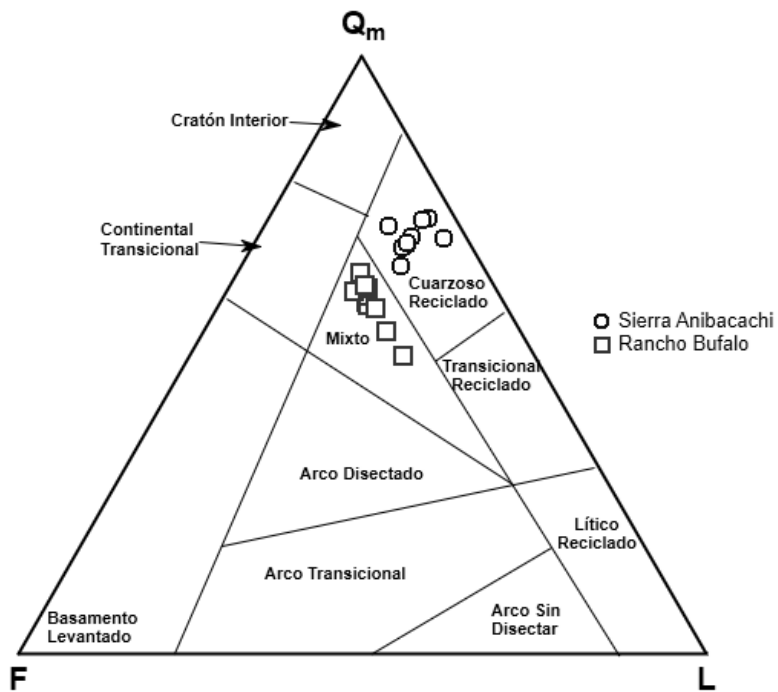


Figura 3.6 Diagrama de Procedencia de Areniscas de acuerdo con Dickinson (1983) de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo. Donde Q_m = Cuarzo monocristalino, F = feldspatos, L = líticos totales (incluyendo cuarzo policristalino).

CAPÍTULO 4. GEOQUÍMICA

4.1 Introducción

Las rocas sedimentarias contienen abundante información sobre la composición, marco tectónico, y el desarrollo evolutivo de la corteza continental temprana (Taylor y McLennan, 1985; McLennan *et al.*, 1993). Las secuencias sedimentarias arenosas son parte importante de las cuencas sedimentarias en todo el mundo. Tales secuencias, ya sean consolidadas o no consolidadas, son conocidas por ser fuente prolífica de aguas subterráneas así como roca reservorio, importante en la mayoría de provincias petroleras. Es ampliamente conocido que, las características texturales de tales unidades arenosas son producto del intemperismo, transportación y demás procesos sedimentarios, mientras su composición también depende de la composición química de la roca fuente y de los ambientes tectónicos de las cuencas depositacionales (Bhatia y Crook, 1986; Das y Haake, 2003; Jin *et al.*, 2006). Por lo tanto, la composición de las rocas sedimentarias siliciclásticas ha sido empleada como un indicador para determinar su procedencia y las condiciones de intemperismo sobre la roca fuente (Roser y Korsch, 1986, 1988; Goetze, 1998; Cullers, 2000; Getaneh, 2002; Ohta, 2004; Huntsman-Mapilaa *et al.*, 2005).

La composición química de rocas clásticas terrígenas se ha usado ampliamente para descifrar la composición del área fuente (Wronkiewicz y Condie, 1987, 1989, 1990; McLennan *et al.*, 1995; Cullers, 2000; Cullers y Podkovyrov, 2000; Bhat y Ghosh, 2001; Condie *et al.*, 2001; Chakrabarti *et al.*, 2007a,b; Armstrong-Altrin *et al.*, 2013; Madhavaraju, 2015; Madhavaraju *et al.*, 2016a, 2017; Ramachandran *et al.*, 2016), para evaluar procesos de intemperismo y paleoclimas (e.g. Nesbitt y Young, 1982; Sreenivas y Srinivasan, 1994; Fedo *et al.*, 1995, 1996; Madhavaraju *et al.*, 2016b; Pacheco-Olivas, 2017), para reconstruir los marcos tectónicos de las cuencas depositacionales (e.g. Bhatia, 1983; Bhatia y Crook, 1986; Roser y Korsch, 1986, 1988; McLennan *et al.*, 1990; Verma y Armstrong-Altrin, 2013, 2016), para cuantificar los procesos secundarios como metasomatismo post depositacional (e.g. Fedo *et al.*, 1995, 1997) y también para evaluar la composición y evolución de la corteza continental (e.g. Taylor y McLennan, 1985, 1995; Gibbs *et al.*, 1986; McLennan y Taylor, 1991; Condie, 1993; Lahtinen, 2000; Rudnick y Gao, 2004).

Distintos estudios han demostrado que la composición mineralógica y química de rocas sedimentarias siliciclásticas están controladas por diversos factores, incluyendo (a) composición de la roca fuente, (b) condiciones ambientales que influyen en el intemperismo de la roca fuente, (c) duración de intemperismo, (d) el modo y la distancia de transporte de los materiales clásticos, (e) ambientes depositacionales, y (f) procesos post depositacionales (Hayashi *et al.*, 1997); varios de estos factores, a su vez, son

controlados por la configuración de las placas tectónicas, de la procedencia y de la cuenca depositacional (e.g., Dickinson y Suczek, 1979; Nesbitt y Young, 1982, 1989; Dickinson *et al.* 1983; Bhatia, 1983; Roser y Korsch, 1986, 1988; McLennan y Taylor, 1991; Nesbitt *et al.* 1997; Zimmermann y Bahlburg, 2003; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004). A pesar de que los cambios químicos pueden tomar lugar durante los procesos sedimentarios como: intemperismo, erosión, transporte de sedimentos, depositación y diagénesis (Wronkiewicz y Condie, 1987; Fedo *et al.*, 1996; Nesbitt *et al.*, 1996, 1997); además, ciertos elementos insolubles con corto tiempo de residencia en las aguas marinas son transferidos casi cuantitativamente a los sedimentos (Taylor y McLennan, 1985; Fedo *et al.*, 1996).

La geoquímica de las lutitas ofrece mayor información con relación a la composición promedio de la corteza continental superior que otra roca sedimentaria, ya que conservan la firma original de su procedencia e historia diagenética (Baioumy y Ismael, 2010; DaPeng *et al.*, 2012; Mondal *et al.*, 2012; Spalletti *et al.*, 2012). La composición química de las rocas sedimentarias clásticas de grano fino ha sido usada para interpretar las características de la roca fuente, la intensidad del intemperismo, y el marco tectónico (Bhatia, 1983, Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1986; Feng y Kerrich, 1990; Cullers, 1994; Madhavaraju y Lee, 2010; Armstrong-Altrin *et al.*, 2013; Madhavaraju, 2015; Tobia y Shangola, 2016).

4.2 Materiales y Métodos

Sesenta y dos muestras (35 muestras para la sección Sierra Anibacachi y 27 muestras para la Sección Rancho Búfalo) fueron analizadas para determinar su contenido geoquímico en elementos mayores, traza y tierras raras. Además, seis muestras (2 del Esquisto Pinal y cuatro del Granito Mesteñas) también fueron analizadas para determinar sus contenidos geoquímicos. Las muestras fueron pulverizadas en un mortero de ágata, y fundidas en perlas de vidrio (Figura 4.1A) para el análisis de elementos mayores; esta medición se realizó por medio de la técnica de fluorescencia de rayos-X en discos fusionados de $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, utilizando un espectrómetro de fluorescencia de rayos-X ZSX Primus II, de la marca Rigaku con un tubo con ánodo de Rh como fuente de radiación (Figura 4.1B). Los efectos de absorción/realce fueron corregidos usando el método de Lachance y Traill (1966), incluido en el software SRS-3000. Se utilizó el estándar geoquímico JGB1 (GSJ) para determinar la calidad (Tabla 4.1). La precisión de los análisis fue mejor que $\pm 2\%$ para SiO_2 , Fe_2O_3 y CaO (1.24%, 0.73%, 1.52%, respectivamente) y mejor que $\pm 5\%$ para Al_2O_3 , MgO y Na_2O (3.61%, 3.44%, 3.33%, respectivamente). Las precisiones para MnO y P_2O_5 fueron mejores que $\pm 5\%$ (5.27%, 7.14%, respectivamente). Un gramo de muestra fue calentado a 1,000°C en crisol de porcelana (Figura 4.1 C) por 1 hora para medir la pérdida por ignición (LOI por sus siglas en inglés).



Figura 4.1 A) Perla de vidrio para análisis fluorescencia rayos X; B) Espectrometro de rayos X, Rigaku ZSX primus II. C) Horno para calcinar muestra y crisol de porcelana.

Tabla 4.1 Comparación de datos de óxidos mayores con la muestra JBG1 con datos certificados de GSJ (Imai et al., 1995).

Oxidos/ Elementos	Estudio	Literatura	LOD**	JGB1	JGB1%
SiO ₂	44.20	43.66	0.05	0.54	1.24
Al ₂ O ₃	18.12	17.49	0.018	0.63	3.61
Fe ₂ O ₃	15.17	15.06	0.006	0.11	0.73
CaO	12.08	11.9	0.04	0.18	1.52
MgO	8.12	7.85	0.015	0.27	3.44
K ₂ O	0.25	0.24	0.03	0.01	3.33
Na ₂ O	1.24	1.2	0.05	0.04	3.33
MnO	0.20	0.19	0.004	0.01	5.27
TiO ₂	1.61	1.6	0.004	0.01	0.63
P ₂ O ₅	0.06	0.056	0.004	0.00	7.14
LOI	0.12	-	-	-	-

Los elementos traza y tierras raras se determinaron por medio de un Espectrómetro de Masas de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS por sus siglas en inglés) Agilent 7500ce, bajo los procedimientos analíticos estándar sugeridos por Mori *et al.* (2009). Los resultados analíticos obtenidos en el presente estudio para AGV-2, BCR-2 y BHVO-2 son comparados con los valores publicados (Tabla 4.2) reportados por Govindaraju (1994) que permiten mejorar la precisión de los análisis. El error de precisión analítica para Ba, Zn, V, Sr, Zr, Nb, Ni y Rb fue mejor que 4%, mientras para Sc, Cr, Cu, Y y Pb fue mejor que $\pm 10\%$. El error de precisión para los elementos tierras raras tales como La,

Ce, Pr, Sm, Gd, Dy, Ho, Er y Lu fue mejor que $\pm 4\%$, y por último, Nd, Eu, Tb e Yb fue mejor que $\pm 6\%$. Los elementos mayores se analizaron en el Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Los elementos traza y tierras raras fueron analizados en el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los elementos tierras raras se normalizaron con los valores de Mcdonough y Sun (1995) para la realización de diagramas de patrones de elementos tierras raras (REE por sus siglas en inglés) normalizadas. El valor de Eu/Eu^* (anomalía de Eu) es calculado usando el valor de Eu ($Eu_{\text{muestra}}/Eu_{\text{condrita}}$) y el valor previsto de Eu^* se obtiene de la interpolación de los valores normalizados por condrita de Sm y Gd.

Tabla 4.2 Valores estándares de elementos traza y REE comparados con valores de estudio.

Oxido/ Elemento	Este Estudio*			Valores Literatura			LOD**
	AGV-2	BCR-2	BHVO-2	AGV-2	BCR-2	BHVO-2	
Ba	1,142.39	678.94	132.77	1140	683	130	-
Co	15.34	37.37	45.02	16	37	45	-
Cr	16.89	15.78	280.18	17	18	280	-
Cu	56.06	26.83	145.64	53	19	127	-
Zn	87.41	133.88	104.30	86	127	103	-
Sc	12.31	33.05	32.45	13	33	32	-
V	117.27	417.87	327.14	120	416	317	-
Y	19.67	36.72	26.99	20	37	26	-
Sr	645.86	343.59	409.75	658	346	389	-
Zr	233.08	188.42	170.98	230	188	172	-
Nb	14.39	13.03	21.20	15	-	18	-
Ni	18.45	12.04	119.01	19	-	119	-
Pb	13.16	10.09	2.04	13	11	-	-
Rb	68.60	48.91	9.19	68.6	48	9.8	-
Th	6.19	5.76	1.27	6.1	6.2	1.2	-
U	1.87	1.63	0.42	1.88	1.69	-	-
La	38.00	24.92	15.15	38	25	15	-
Ce	68.80	52.53	37.17	68	53	38	-
Pr	8.41	6.72	5.21	8.3	6.8	-	-
Nd	30.82	28.17	23.78	30	28	25	-
Sm	5.74	6.72	6.15	5.7	6.7	6.2	-
Eu	1.60	1.92	1.94	1.54	2	-	-
Gd	4.92	6.83	6.20	4.69	6.8	6.3	-
Tb	0.68	1.07	0.94	0.64	1.07	0.9	-
Dy	3.69	6.66	5.43	3.6	-	-	-
Ho	0.70	1.34	1.00	0.71	1.33	1.04	-
Er	1.87	3.69	2.52	1.79	-	-	-
Tm	-	-	-	0.26	0.54	-	-
Yb	1.68	3.47	2.04	1.6	3.5	2	-
Lu	0.26	0.51	0.28	0.25	0.51	0.28	-

4.3 Resultados

4.3.1 Elementos mayores

4.3.1.1 Sección Sierra Anibacachi

Las areniscas de esta sección tienen una mayor concentración de SiO_2 (62.5 a 94.6%) que las limolitas y lutitas (56.1 a 67.7%, 49.9 a 65.8%, respectivamente). En cambio, las limolitas y lutitas tienen mayor contenido de Al_2O_3 (6.41 a 8.86%, 9.88 a 17.05%, respectivamente) que los valores obtenidos en las areniscas (1.81 a 7.03%). Las areniscas y lutitas muestran variaciones más grandes en los contenidos de CaO (0.05 – 15.50%; 0.63 – 15.35%; respectivamente) que las limolitas (9.09 – 15.27%). Las areniscas y limolitas tienen contenidos más bajos de TiO_2 , MgO , Na_2O y K_2O que las lutitas. Por último, las areniscas, limolitas y lutitas tienen bajo contenido de MnO y P_2O_5 (Tabla 4.3).

En el diagrama $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (Figura 4.2) de Herron (1988), la mayoría de las muestras de areniscas caen dentro de los campos sub-litarenita, litarenita y sub-arcosa, mientras que las muestras de lutita se encuentran en los campos de wacka y lutita. La relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ de las rocas sedimentarias terrígenas puede ser usada como un indicador de la composición original de sedimentos antiguos porque dicha relación es diferente para minerales de arcilla y feldespatos. Continuando con la relación anterior, el rango de valores para minerales de arcilla es de 0.0 a 0.03 y para feldespatos el rango se encuentra entre 0.3 y 0.9 (Cox y Lowe, 1995). En el presente estudio, los valores de la relación varían de la siguiente manera: areniscas (0.15 ± 0.06 , $n=20$), limolitas (0.22 ± 0.05 , $n = 8$), y lutitas (0.22 ± 0.07 , $n = 7$). Estos valores sugieren que esas muestras contienen cantidades considerablemente mayores de minerales de arcilla que de minerales portadores de K, tales como feldespatos potásicos y micas. Muchas muestras de lutita tienen altos contenidos de Fe, lo cual indica la presencia de clorita.

Tabla 4.3 Datos de óxidos mayores (%peso) para areniscas, limolitas y lutitas de la Formación Morita en la Sección Sierra Anibacachi.

Roca													
Arenisca													
Muestra No.	SAMF2	SAMF5	SAMF6	SAMF8	SAMF10	SAMF11	SAMF13	SAMF14	SAMF17	SAMF18	SAMF20	SAMF22	SAMF23
SiO2	90.07	81.68	69.63	74.02	81.84	62.49	68.53	83.13	77.63	88.08	86.14	74.65	91.95
TiO2	0.17	0.21	0.35	0.15	0.14	0.20	0.29	0.16	0.35	0.29	0.23	0.42	0.41
Al2O3	5.68	5.14	5.72	4.75	4.82	5.28	5.35	4.30	7.03	5.21	4.40	6.89	4.05
Fe2O3	0.41	0.80	1.29	0.54	0.62	0.72	1.24	0.33	2.05	0.32	0.80	2.07	0.56
MnO	0.03	0.03	0.07	0.08	0.05	0.18	0.09	0.03	0.07	0.02	0.04	0.06	0.01
MgO	0.39	0.24	0.33	0.22	0.21	0.33	0.39	0.12	0.31	0.17	0.19	0.95	0.27
CaO	0.11	5.16	11.00	9.85	5.29	15.50	11.82	4.95	4.80	1.65	3.21	5.85	0.32
Na2O	1.57	0.80	0.48	1.01	2.17	2.23	0.91	1.54	1.04	1.18	1.24	0.87	0.02
K2O	0.31	0.98	1.31	0.75	0.13	0.45	1.06	0.43	1.54	0.83	0.58	1.63	0.84
P2O5	0.06	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.09	0.04	0.03	0.05	0.06
PPC	1.20	4.88	9.62	8.38	4.69	12.58	10.25	4.29	5.03	2.13	3.11	6.50	1.32
Suma	99.99	99.95	99.88	99.78	99.98	99.98	99.95	99.31	99.95	99.92	99.97	99.95	99.81
CIA	64	58	66	54	40	40	56	44	58	52	48	60	80
PIA	66	61	73	54	40	39	58	43	61	53	48	64	98
ICV	0.53	1.60	2.60	2.65	1.78	3.73	2.95	1.76	1.44	0.86	1.43	1.72	0.60
SiO2/Al2O3	15.9	15.9	12.2	15.6	17.0	11.9	12.8	19.3	11.0	16.9	19.6	10.8	22.7
K2O/Al2O3	0.06	0.19	0.23	0.16	0.03	0.08	0.20	0.10	0.22	0.16	0.13	0.24	0.21
K2O/Na2O	0.20	1.22	2.72	0.74	0.06	0.20	1.16	0.28	1.48	0.70	0.47	1.88	34.79
Al2O3/TiO2	33	24	16	33	34	27	19	27	20	18	19	16	10

Arenisca														Limolita				
Muestra No.	SAMF24	SAMF25	SAMF27	SAMF28	SAMF29	SAMF30	SAMF35	Promedio	SAMF1	SAMF4	SAMF7	SAMF9	SAMF16					
SiO2	68.76	91.44	94.36	90.30	94.60	88.76	88.19	82.3 ± 9.7	56.13	60.28	60.15	57.09	63.77					
TiO2	0.34	0.42	0.13	0.31	0.24	0.06	0.37	0.26 ± 0.11	0.31	0.42	0.32	0.41	0.39					
Al2O3	5.13	4.33	3.69	3.69	2.94	1.81	5.38	4.7 ± 1.22	8.42	8.86	6.41	7.85	8.45					
Fe2O3	1.14	0.32	0.15	0.47	0.24	0.30	1.23	0.78 ± 0.56	1.84	2.68	1.68	2.48	2.04					
MnO	0.09	0.03	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.05 ± 0.04	0.14	0.07	0.08	0.06	0.09					
MgO	0.39	0.17	0.13	0.28	0.18	0.15	0.87	0.31 ± 0.22	1.14	0.39	0.97	0.59	0.89					
CaO	11.99	0.63	0.05	1.49	0.08	4.35	0.40	4.92 ± 4.75	15.27	12.97	14.85	15.19	10.72					
Na2O	0.51	0.10	0.01	0.59	0.02	0.51	1.72	0.93 ± 0.68	1.14	0.06	1.11	0.79	1.10					
K2O	1.14	0.87	0.42	0.50	0.37	0.17	0.28	0.73 ± 0.44	1.70	2.58	1.24	1.96	2.01					
P2O5	0.04	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04 ± 0.02	0.03	0.06	0.05	0.07	0.05					
PPC	10.44	1.47	1.04	2.22	1.26	3.78	1.23	4.77 ± 3.66	13.83	11.61	13.03	13.39	10.44					
Suma	99.95	99.83	99.99	99.93	99.96	99.98	99.73	99.9 ± 0.16	99.93	99.98	99.91	99.88	99.95					
CIA	64	77	88	60	86	50	58	60 ± 14	60	75	56	62	59					
PIA	70	91	99	62	98	49	59	64 ± 19	64	97	58	69	63					
ICV	3.04	0.59	0.24	1.00	0.39	3.09	0.91	1.64 ± 1.04	2.56	2.16	3.16	2.74	2.04					
SiO2/Al2O3	13.4	21.1	25.6	24.5	32.2	49.0	16.4	19.2 ± 8.9	6.7	6.8	9.4	7.3	7.5					
K2O/Al2O3	0.22	0.20	0.11	0.14	0.13	0.09	0.05	0.15 ± 0.06	0.20	0.29	0.19	0.25	0.24					
K2O/Na2O	2.22	8.56	60.29	0.85	21.88	0.33	0.17	1.37 ± 2.01	1.50	46.11	1.12	2.50	1.84					
Al2O3/TiO2	15	10	28	12	12	31	14	21 ± 8	28	21	20	19	22					

Limolita					Lutita								
Muestra No.	SAMF19	SAMF26	SAMF36	Promedio	SAMF12	SAMF15	SAMF21	SAMF31	SAMF32	SAMF33	SAMF34	Promedio	
SiO2	65.92	67.68	63.45	62 ± 4.1	58.45	49.87	65.33	63.58	65.84	61.45	65.33	61 ± 5.3	
TiO2	0.42	0.36	0.48	0.39 ± 0.06	0.68	0.39	0.57	0.84	0.82	0.61	0.76	0.64 ± 0.13	
Al2O3	8.27	7.69	8.07	8 ± 0.74	16.53	9.89	12.53	15.64	16.82	12.98	17.05	14 ± 2.53	
Fe2O3	2.29	2.28	2.82	2.26 ± 0.40	6.06	2.84	3.91	4.68	4.44	5.47	4.76	4.59 ± 0.9	
MnO	0.05	0.09	0.08	0.08 ± 0.03	0.04	0.14	0.05	0.04	0.03	0.07	0.03	0.06 ± 0.04	
MgO	0.49	1.49	1.77	0.97 ± 0.49	1.79	2.29	0.99	2.50	2.36	2.57	1.79	2.04 ± 0.52	
CaO	10.09	9.09	10.49	12.33 ± 2.5	4.15	15.35	5.48	2.60	0.63	5.57	0.49	4.89 ± 4.68	
Na2O	0.63	0.76	1.27	0.85 ± 0.39	0.15	0.23	0.34	1.97	1.08	2.49	0.41	0.95 ± 0.86	
K2O	2.23	1.44	1.16	1.79 ± 0.50	4.71	2.85	3.64	2.66	2.72	1.36	3.92	3.12 ± 1	
P2O5	0.07	0.06	0.06	0.06 ± 0.01	0.12	0.07	0.09	0.14	0.13	0.13	0.07	0.11 ± 0.03	
PPC	9.48	9.03	10.25	11.38 ± 1.8	7.26	16.07	7.02	5.41	5.07	7.28	5.35	7.64 ± 3.56	
Suma	99.94	99.95	99.89	99.9 ± 0.03	99.95	99.98	99.96	99.85	99.94	99.96	99.94	99.9 ± 0.04	
CIA	65	66	60	63 ± 6	75	72	71	63	74	57	75	70 ± 6	
PIA	74	71	62	70 ± 12	96	90	88	66	83	58	90	82 ± 13	
ICV	1.96	2.01	2.24	2.36 ± 0.42	1.06	2.44	1.20	0.96	0.72	1.40	0.71	1.21 ± 0.55	
SiO2/Al2O3	8.0	8.8	7.9	7.8 ± 0.9	3.5	5.0	5.2	4.1	3.9	4.7	3.8	4.3 ± 0.6	
K2O/Al2O3	0.27	0.19	0.14	0.22 ± 0.05	0.28	0.29	0.29	0.17	0.16	0.10	0.23	0.22 ± 0.07	
K2O/Na2O	3.54	1.91	0.91	1.90 ± 0.89	31.21	12.62	10.63	1.35	2.51	0.55	9.51	9.77 ± 9.83	
Al2O3/TiO2	20	22	17	21 ± 3	24	25	22	24	21	21	22	23 ± 2	

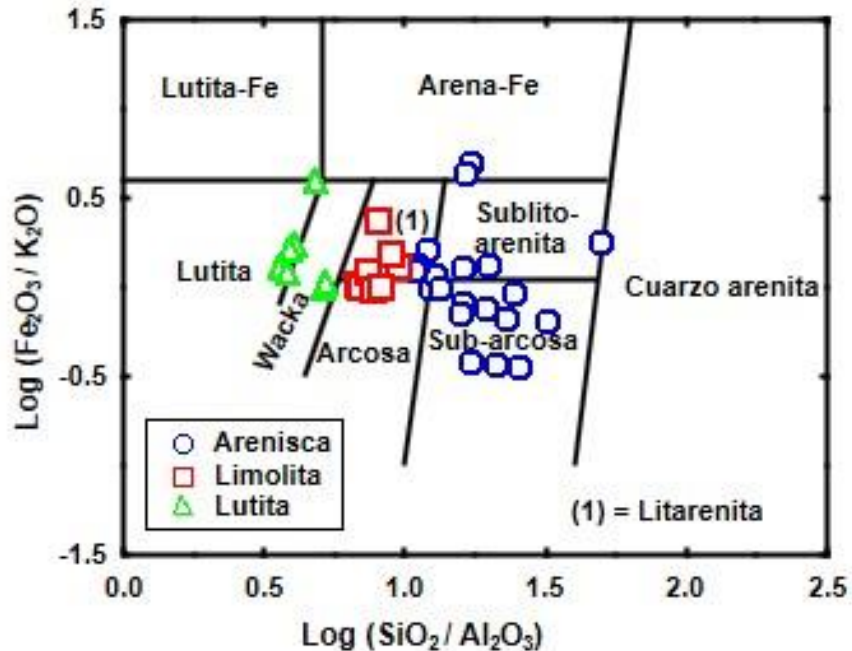


Figura 4.2 Diagrama de clasificación geoquímica de la sección Sierra Anibacachi usando $\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}) - \log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Herron, 1988).

4.3.1.2 Sección Rancho Búfalo

Tanto las areniscas como las limolitas de esta sección tienen una alta concentración de SiO_2 (74.6 a 93.4%, 74.0 a 83.0%, respectivamente). El contenido de Al_2O_3 es más alto en las limolitas (9.4 a 9.9%) que en las areniscas (3.1 a 8.9%). También, las limolitas muestran un rango más amplio en su contenido de Fe_2O_3 (0.69 a 6.53%) que las areniscas (0.46 a 2.14%). Por otra parte, las areniscas muestran mayores variaciones en contenido de CaO (0.21 – 6.91%) que las limolitas (0.37 – 1.43%). Las areniscas y limolitas tienen más bajas concentraciones de K_2O que de Na_2O (Tabla 4.4). Otros elementos mayores tales como el TiO_2 , MnO , MgO y P_2O_5 muestran bajas concentraciones tanto en las areniscas como en las limolitas (Tabla 4.4).

En el diagrama (Figura 4.3) $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs $\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ de Herron (1988), la mayoría de las areniscas y limolitas caen dentro del campo de sub-litarenita, litarenita y arena-Fe. La relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ de las areniscas y limolitas está dentro del rango de minerales arcilla (0.07 ± 0.04 , $n=24$, 0.04 ± 0.03 , $n=3$, respectivamente). Una muestra de limolita tiene alto contenido de Fe_2O_3 , lo cual puede deberse a la presencia de clorita.

Tabla 4.4 Datos de óxidos mayores (%peso) para areniscas, limolitas y lutitas de la Formación Morita en la Sección Rancho Búfalo.

Arenisca										
Muestra No.	RBMF1	RBMF3	RBMF4	RBMF5	RBMF6	RBMF8	RBMF10	RBMF12	RBMF13	RBMF14
SiO ₂	74.55	84.01	83.24	85.55	84.39	82.71	79.56	85.69	83.92	90.15
TiO ₂	0.28	0.13	0.36	0.19	0.22	0.13	0.12	0.04	0.22	0.09
Al ₂ O ₃	8.57	7.19	8.77	7.29	8.04	8.92	7.30	7.65	8.18	5.19
Fe ₂ O ₃	2.14	0.99	1.70	1.55	0.91	1.56	0.85	1.17	1.81	0.62
MnO	0.09	0.06	0.02	0.02	0.03	0.04	0.15	0.01	0.02	0.01
MgO	0.62	0.31	0.35	0.33	0.55	0.52	0.19	0.55	0.54	0.37
CaO	4.73	1.73	0.31	0.41	0.88	0.76	4.09	0.35	0.28	0.31
Na ₂ O	2.90	3.28	4.00	3.14	3.15	2.85	4.22	2.03	2.94	1.89
K ₂ O	1.12	0.49	0.33	0.48	0.36	0.51	0.04	0.55	0.81	0.31
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
PPC	5.10	1.95	0.90	1.05	1.66	2.14	3.57	1.90	1.41	1.20
Suma	100.14	100.16	100.02	100.02	100.21	100.16	100.10	99.96	100.15	100.15
CIA	44	44	54	53	53	57	-	63	57	56
PIA	44	44	54	53	53	58	34	64	58	57
ICV	1.38	0.97	0.81	0.84	0.76	0.71	1.32	0.61	0.81	0.69
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	8.7	11.7	9.5	11.7	10.5	9.3	10.9	11.2	10.3	17.4
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.13	0.07	0.04	0.07	0.04	0.06	0.00	0.07	0.10	0.06
K ₂ O/Na ₂ O	0.39	0.15	0.08	0.15	0.11	0.18	0.01	0.27	0.28	0.16
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	31	54	25	39	37	70	59	212	37	60

Arenisca										
Muestra No.	RBMF15	RBMF16	RBMF17	RBMF18	RBMF19	RBMF20	RBMF21	RBMF22	RBMF23	RBMF24
SiO ₂	87.53	85.69	90.85	88.52	80.53	86.72	84.16	93.38	76.00	79.12
TiO ₂	0.18	0.21	0.17	0.02	0.18	0.19	0.30	0.17	0.27	0.43
Al ₂ O ₃	6.50	5.65	4.73	3.15	3.96	4.11	3.77	3.47	5.50	4.24
Fe ₂ O ₃	0.81	1.01	0.68	0.46	0.75	0.84	0.47	0.73	1.28	0.96
MnO	0.01	0.03	0.01	0.06	0.08	0.05	0.06	0.04	0.09	0.06
MgO	0.72	0.64	0.40	0.35	0.54	0.57	0.37	0.35	1.24	0.72
CaO	0.42	1.82	0.24	3.10	6.43	2.94	4.87	0.21	6.91	6.79
Na ₂ O	1.45	1.18	1.18	0.97	1.20	0.93	0.09	0.05	0.82	0.47
K ₂ O	0.37	0.73	0.21	0.21	0.41	0.40	0.71	0.16	0.68	0.38
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.18	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05
PPC	2.14	2.85	1.42	3.14	5.92	3.34	5.26	1.49	7.30	6.82
Suma	100.17	99.84	100.07	100.00	100.03	100.12	100.10	100.09	100.14	100.04
CIA	65	55	65	48	47	54	78	91	62	68
PIA	66	56	65	48	47	55	91	96	64	71
ICV	0.61	0.99	0.61	1.64	2.42	1.44	1.82	0.49	2.05	2.31
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	13.5	15.2	19.2	28.1	20.3	21.1	22.3	26.9	13.8	18.7
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.06	0.13	0.04	0.07	0.10	0.10	0.19	0.05	0.12	0.09
K ₂ O/Na ₂ O	0.26	0.62	0.18	0.22	0.35	0.43	8.24	3.49	0.83	0.80
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	37	27	29	175	23	22	12	21	20	10

Arenisca					Limolita				
Muestra No.	RBMF25	RBMF26	RBMF28	RBMF29	Promedio	RBMF7	RBMF9	RBMF11	Promedio
SiO ₂	81.32	80.65	89.14	82.06	84.1 ± 0.11	78.54	83.03	74.00	78.5 ± 4.5
TiO ₂	0.28	0.44	0.24	0.25	0.21 ± 0.11	0.33	0.17	0.44	0.31 ± 0.14
Al ₂ O ₃	5.09	4.84	3.74	3.14	5.7 ± 1.9	9.78	9.35	9.86	9.6 ± 0.2
Fe ₂ O ₃	1.91	1.60	1.18	0.72	1.11 ± 0.48	2.53	0.69	6.53	3.25 ± 2.9
MnO	0.06	0.07	0.08	0.04	0.05 ± 0.03	0.05	0.01	0.10	0.05 ± 0.04
MgO	1.75	1.76	0.67	0.59	0.62 ± 0.40	1.02	0.24	2.09	1.12 ± 0.93
CaO	3.80	5.19	1.71	6.34	2.69 ± 2.43	1.45	0.37	1.29	1.03 ± 0.58
Na ₂ O	0.90	0.76	0.01	0.36	1.70 ± 1.29	2.65	5.32	1.17	3.05 ± 2.1
K ₂ O	0.30	0.18	0.15	0.15	0.42 ± 0.25	0.69	0.05	0.54	0.43 ± 0.33
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.06	0.03	0.04 ± 0.03	0.03	0.03	0.03	0.03 ± 0.0
PPC	4.69	5.60	3.17	6.47	3.35 ± 2.03	3.03	0.83	4.04	2.63 ± 1.64
Suma	100.11	101.12	100.14	100.15	100.1 ± 0.2	100.10	100.09	100.09	100 ± 0.01
CIA	61	64	53	70	59 ± 11	56	50	69	58 ± 10
PIA	62	65	53	71	60 ± 14	56	50	71	59 ± 11
ICV	1.77	2.07	1.08	2.70	1.29 ± 0.66	0.89	0.73	1.23	0.95 ± 0.26
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	16.0	16.7	23.9	26.2	16.4 ± 6	8.0	8.9	7.5	8.1 ± 0.7
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.06	0.04	0.04	0.05	0.07 ± 0.04	0.07	0.01	0.05	0.04 ± 0.03
K ₂ O/Na ₂ O	0.33	0.24	15.40	0.42	0.31 ± 0.22	0.26	0.01	0.46	0.24 ± 0.23
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	18	11	16	12	30 ± 17	30	55	22	36 ± 17

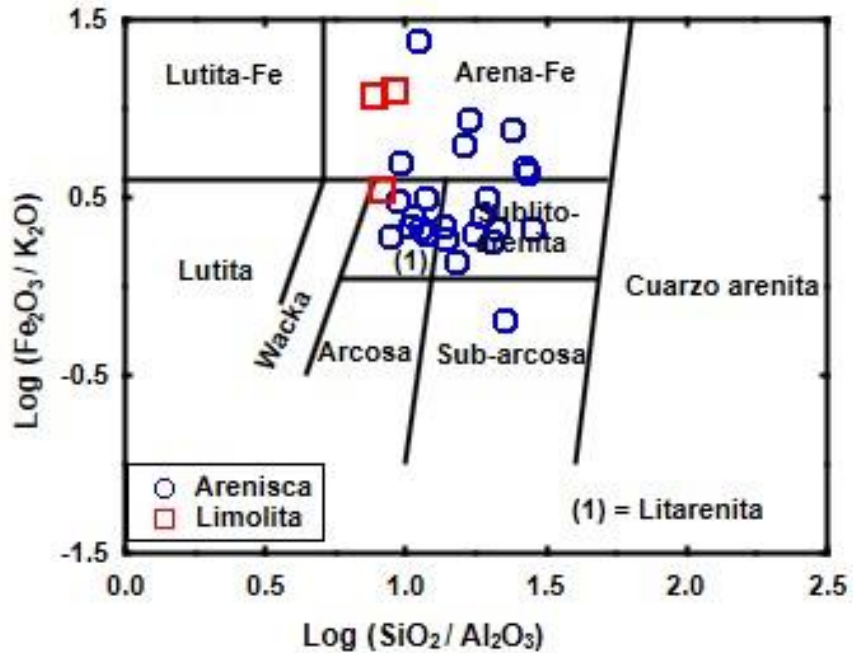


Figura 4.3 Diagrama de clasificación geoquímica de la sección Rancho Búfalo usando $\log (Fe_2O_3/K_2O) - \log (SiO_2/Al_2O_3)$ (Herron, 1988).

4.3.2. Elemento traza y tierras raras

4.3.2.1. Sección Sierra Anibacachi

Las concentraciones de elementos traza y tierras raras están proporcionadas en la Tabla 4.5 (A-B). Las distribuciones de ciertos elementos trazas, los cuales muestran un comportamiento relativamente inmóvil, son indicadores útiles de procedencia (Taylor y McLennan, 1985; Cullers *et al.*, 1987, 1988; Cullers y Stone, 1991; McLennan *et al.*, 1993; Bock *et al.*, 1998; Cullers 2002). Los elementos traza fueron normalizados usando los valores de corteza continental superior (UCC por sus siglas en inglés, de Taylor y McLennan, 1985) y son graficados en diagramas multielementales (Figura 4.3). En comparación con corteza continental superior (UCC), las areniscas y limolitas están empobrecidas en Sc, Co, Ni, Cr, V, Sr, Rb, Ba, Pb, Y, Nb, Th y U. Los elementos de alto campo de fuerza (HFSE por sus siglas en inglés: Zr, Hf, Y, Nb, Th y U) son menos afectados por el intemperismo químico y por lo tanto proporcionan información muy importante acerca de las rocas fuente (Sawyer, 1986; McLennan, 1989a). El Ba y un par de elementos HFSE (Zr y Hf) muestran amplias variaciones comparadas a UCC. Las muestras de lutita tienen valores más bajos en Ni, Co, Sr y Nb, mientras que el Sc, Co, V, Rb, Ba, Pb, Zr, Y, Hf, Th y U muestran amplias variaciones comparados con UCC.

Tabla 4.5 A) Tabla de contenidos de Elementos Traza en ppm para las muestras de la sección Sierra Anibacachi.

Roca	Muestra No.	Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Zr	Nb	Hf	Pb	Th	U
Arenisca	SAMF-2	0.55	18.44	5.08	1.46	2.09	13.48	26.41	86.84	5.36	2.12	2.59	3.30	0.84
	SAMF-5	1.19	13.95	8.17	2.77	3.36	30.50	54.87	196.49	5.85	4.52	11.07	3.47	1.10
	SAMF-6	2.76	27.85	17.64	3.57	5.56	47.54	92.33	370.74	8.00	8.49	6.80	5.64	1.99
	SAMF-8	1.30	17.91	10.36	1.84	3.89	23.44	170.45	142.91	3.73	3.09	4.47	2.51	0.92
	SAMF-10	1.12	9.21	9.41	2.03	3.85	3.81	70.35	133.66	3.65	3.02	2.26	2.74	0.75
	SAMF-11	1.98	14.51	8.58	2.12	4.56	17.36	122.74	192.33	4.79	4.06	7.26	3.04	1.09
	SAMF-13	3.17	29.41	18.78	4.12	5.96	37.75	91.06	288.31	5.57	6.58	5.95	4.07	1.72
	SAMF-14	0.69	9.57	7.06	1.03	2.35	13.61	134.37	144.42	3.84	3.25	4.57	2.52	1.11
	SAMF-17	2.88	30.09	17.10	6.12	7.18	50.60	34.47	346.41	7.11	8.13	10.12	6.28	2.10
	SAMF-18	0.77	111.01	10.51	1.77	2.95	24.90	35.02	256.99	5.19	5.96	11.26	3.65	1.81
	SAMF-20	1.34	12.54	12.43	2.29	4.19	18.86	38.96	308.09	4.56	7.16	4.23	3.42	1.12
	SAMF-22	3.56	27.38	15.04	5.14	7.17	47.86	97.65	275.25	6.82	5.57	10.09	4.33	1.28
	SAMF-23	0.27	17.44	10.27	1.78	2.77	34.42	38.99	390.09	5.33	7.40	6.57	3.07	0.96
	SAMF-24	2.07	22.82	19.84	3.90	5.58	39.02	105.72	420.13	6.77	8.16	5.43	4.30	1.38
	SAMF-25	0.23	19.57	15.39	2.05	3.31	28.58	44.58	512.04	5.61	9.99	4.82	3.20	1.25
	SAMF-27	0.00	13.28	7.30	0.82	1.53	14.22	16.49	141.87	2.86	3.25	1.65	1.55	0.48
	SAMF-28	0.12	16.45	11.92	2.36	6.12	22.44	43.75	246.56	3.29	4.98	3.20	2.20	0.73
SAMF-29	0.00	4.50	5.77	0.66	1.15	21.25	11.98	91.10	1.93	2.04	5.74	1.20	0.41	
SAMF-30	0.00	3.15	4.93	0.90	1.62	6.12	58.49	38.11	0.98	0.88	1.81	0.81	0.36	
SAMF-35	0.97	17.14	16.36	2.91	3.03	10.96	132.70	382.99	6.51	8.40	2.84	4.11	1.34	
Promedio		1.24±1.13	17.11±7.84	11.59±4.74	2.48±1.45	3.91±1.84	25.3±13.9	71.1±44.8	248.2±128.7	4.88±1.8	5.35±2.61	5.63±3.05	3.27±1.34	1.13±0.5
Limolita	SAMF-1	5.55	27.01	18.49	4.52	8.85	93.01	195.16	131.97	8.11	3.22	11.23	13.31	2.69
	SAMF-4	6.56	48.33	23.25	5.82	10.82	86.81	107.79	235.62	8.58	5.61	35.10	6.99	3.31
	SAMF-7	4.16	37.59	19.68	5.53	8.76	47.39	153.82	216.54	6.96	4.96	17.23	5.20	1.73
	SAMF-9	6.20	49.42	24.56	4.50	9.62	69.04	171.67	199.51	8.43	4.58	11.40	6.13	2.62
	SAMF-16	4.65	41.83	21.08	4.75	9.14	65.79	137.41	224.55	8.54	5.42	11.65	6.98	2.20
	SAMF-19	4.93	28.74	21.28	4.26	9.41	71.26	134.52	255.77	9.00	6.17	12.65	7.34	2.14
	SAMF-26	4.99	30.96	16.47	5.36	7.31	48.67	117.76	241.39	7.38	5.25	6.18	5.53	1.64
	SAMF-36	6.48	41.09	20.04	7.23	8.53	38.52	213.06	251.03	7.82	5.71	7.64	5.55	2.05
Promedio		5.43±8.89	38.12±8.59	20.6±2.56	5.24±1.97	9.05±1	65.1±19.2	153.9±37	219.54±39.9	8.1±6.8	5.11±2.90	14.13±9.09	7.12±2.62	2.29±0.55
Lutita	SAMF-12	13.71	78.65	34.97	8.22	16.57	176.63	34.65	162.73	12.75	4.29	29.69	13.14	4.45
	SAMF-15	8.63	43.47	21.03	8.64	11.69	88.02	158.62	148.16	7.76	3.71	14.15	6.63	2.44
	SAMF-21	8.87	53.64	25.68	5.79	11.98	128.00	41.77	194.26	11.20	4.98	11.46	10.20	2.16
	SAMF-31	12.41	69.33	29.00	8.42	11.81	72.54	192.97	240.48	13.06	5.69	10.33	9.91	2.10
	SAMF-32	17.07	59.84	22.74	3.40	7.73	64.55	50.58	289.32	12.34	6.72	4.22	9.14	2.48
	SAMF-33	10.12	76.50	31.53	10.35	14.31	53.00	156.57	177.63	10.28	4.17	7.91	7.83	1.97
	SAMF-34	15.70	89.35	33.65	6.91	13.49	112.65	35.33	204.04	13.70	5.00	42.12	11.62	3.17
Promedio		12.3±3.1	67.2±14.7	28.3±4.9	7.38±2.1	12.5±2.5	99.3±39.9	95.7±64.8	202.3±45	11.5±1.9	4.9±0.9	17.1±12.6	9.78±2.04	2.67±0.81

Tabla 4.5 B) Tabla de contenidos de Elementos Tierras Raras en ppm para las muestras de la sección Sierra Anibacachi.

Roca	Muestra No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Arenisca	SAMF-2	11.09	22.38	2.25	8.51	1.36	0.30	1.23	0.16	0.90	0.20	0.53	0.57	0.10
	SAMF-5	11.81	24.38	3.02	11.82	2.05	0.51	1.80	0.26	1.65	0.37	1.08	1.27	0.21
	SAMF-6	17.96	39.71	5.10	20.80	4.26	0.96	3.99	0.59	3.56	0.72	2.03	2.21	0.37
	SAMF-8	12.81	26.63	3.24	13.18	2.70	0.89	2.62	0.37	2.15	0.43	1.15	1.15	0.19
	SAMF-10	9.52	19.51	2.53	10.47	2.05	0.47	2.02	0.29	1.75	0.36	0.95	0.96	0.16
	SAMF-11	21.56	40.67	5.00	20.03	4.02	0.95	3.97	0.59	3.56	0.73	1.99	1.89	0.30
	SAMF-13	16.38	33.76	4.47	18.69	3.88	0.85	3.70	0.53	3.23	0.66	1.83	1.96	0.33
	SAMF-14	7.33	13.99	1.73	7.26	1.36	1.12	1.30	0.18	1.12	0.25	0.69	0.77	0.13
	SAMF-17	20.89	40.81	5.11	20.75	4.15	0.94	4.00	0.60	3.71	0.76	2.12	2.22	0.37
	SAMF-18	11.54	22.64	2.68	11.00	2.07	0.58	2.15	0.31	1.91	0.42	1.20	1.36	0.24
	SAMF-20	11.91	22.99	3.00	12.78	2.64	0.61	2.69	0.39	2.37	0.49	1.34	1.42	0.24
	SAMF-22	12.33	26.28	3.26	12.78	2.63	0.59	2.55	0.41	2.42	0.53	1.52	1.62	0.26
	SAMF-23	8.89	17.53	2.13	8.41	1.77	0.52	1.76	0.28	1.65	0.36	1.04	1.16	0.20
	SAMF-24	14.16	31.12	3.98	15.88	3.49	0.72	3.33	0.52	2.97	0.63	1.79	1.94	0.32
	SAMF-25	12.92	20.42	3.14	12.22	2.59	0.64	2.68	0.41	2.33	0.50	1.47	1.65	0.29
	SAMF-27	5.13	8.58	0.99	3.58	0.45	0.11	0.33	0.06	0.33	0.07	0.24	0.34	0.06
	SAMF-28	10.01	17.52	2.46	9.86	2.15	0.54	2.28	0.35	1.94	0.40	1.09	1.11	0.18
SAMF-29	5.67	9.85	1.09	4.23	0.68	0.20	0.73	0.10	0.60	0.15	0.39	0.43	0.08	
SAMF-30	4.82	9.09	1.07	4.46	0.89	0.23	0.92	0.13	0.70	0.15	0.38	0.39	0.06	
SAMF-35	11.57	19.04	1.96	7.15	1.28	0.56	1.30	0.18	1.20	0.30	1.00	1.24	0.21	
Promedio		11.91±4.66	23.34±9.9	2.91±1.3	11.69±5.36	2.32±1.17	0.61±0.28	2.26±1.12	0.33±0.17	2±1.03	0.42±0.20	1.19±0.57	1.28±0.59	0.21±0.1
Limolita	SAMF-1	37.26	63.71	9.10	35.31	7.39	1.26	7.36	1.14	7.34	1.49	4.20	4.27	0.66
	SAMF-4	22.08	40.15	5.13	20.51	4.16	0.92	4.11	0.64	4.15	0.87	2.41	2.36	0.38
	SAMF-7	17.75	34.21	4.35	17.66	3.59	0.85	3.53	0.53	3.38	0.71	1.98	2.04	0.33
	SAMF-9	21.06	39.77	5.11	20.93	4.39	1.01	4.31	0.66	4.20	0.88	2.47	2.54	0.40
	SAMF-16	21.46	39.37	5.03	20.73	4.32	0.95	4.31	0.66	4.22	0.87	2.42	2.39	0.39
	SAMF-19	22.85	43.02	5.58	22.87	4.65	0.98	4.53	0.68	4.39	0.91	2.56	2.60	0.43
	SAMF-26	16.73	36.17	4.63	18.41	4.06	0.79	4.08	0.66	3.93	0.85	2.38	2.35	0.38
	SAMF-36	22.21	35.96	5.13	20.64	4.72	1.08	5.52	0.78	4.85	1.00	2.99	2.96	0.45
Promedio		22.67±6.29	41.54±9.39	5.5±1.49	22.13±5.55	4.66±1.15	0.98±0.14	4.71±1.2	0.71±0.18	4.55±1.19	0.94±0.23	2.67±0.67	2.69±0.69	0.42±0.1
Lutita	SAMF-12	36.87	74.71	9.86	39.26	7.95	1.62	7.54	1.13	7.21	1.46	4.01	3.81	0.61
	SAMF-15	22.16	50.01	5.86	25.62	6.03	1.17	6.52	1.01	6.75	1.38	3.80	3.69	0.59
	SAMF-21	28.34	55.98	7.39	30.21	6.29	1.22	6.19	0.95	6.17	1.26	3.55	3.44	0.55
	SAMF-31	27.96	55.75	6.92	26.60	5.70	1.21	5.89	0.86	5.42	1.11	3.35	3.26	0.47
	SAMF-32	27.91	53.04	6.93	27.16	6.01	1.24	6.75	1.03	6.91	1.47	4.63	4.56	0.66
	SAMF-33	25.74	46.68	5.64	21.52	4.63	1.01	5.11	0.74	4.71	0.97	2.95	2.82	0.42
	SAMF-34	33.01	65.08	7.87	29.96	6.49	1.08	6.85	1.00	6.36	1.31	4.01	3.94	0.58
Promedio		28.85±4.79	57.32±9.6	7.21±1.41	28.62±5.53	6.15±1	1.22±0.19	6.4±0.78	0.96±0.13	6.21±0.88	1.28±0.18	3.75±0.54	3.64±0.55	0.55±0.08

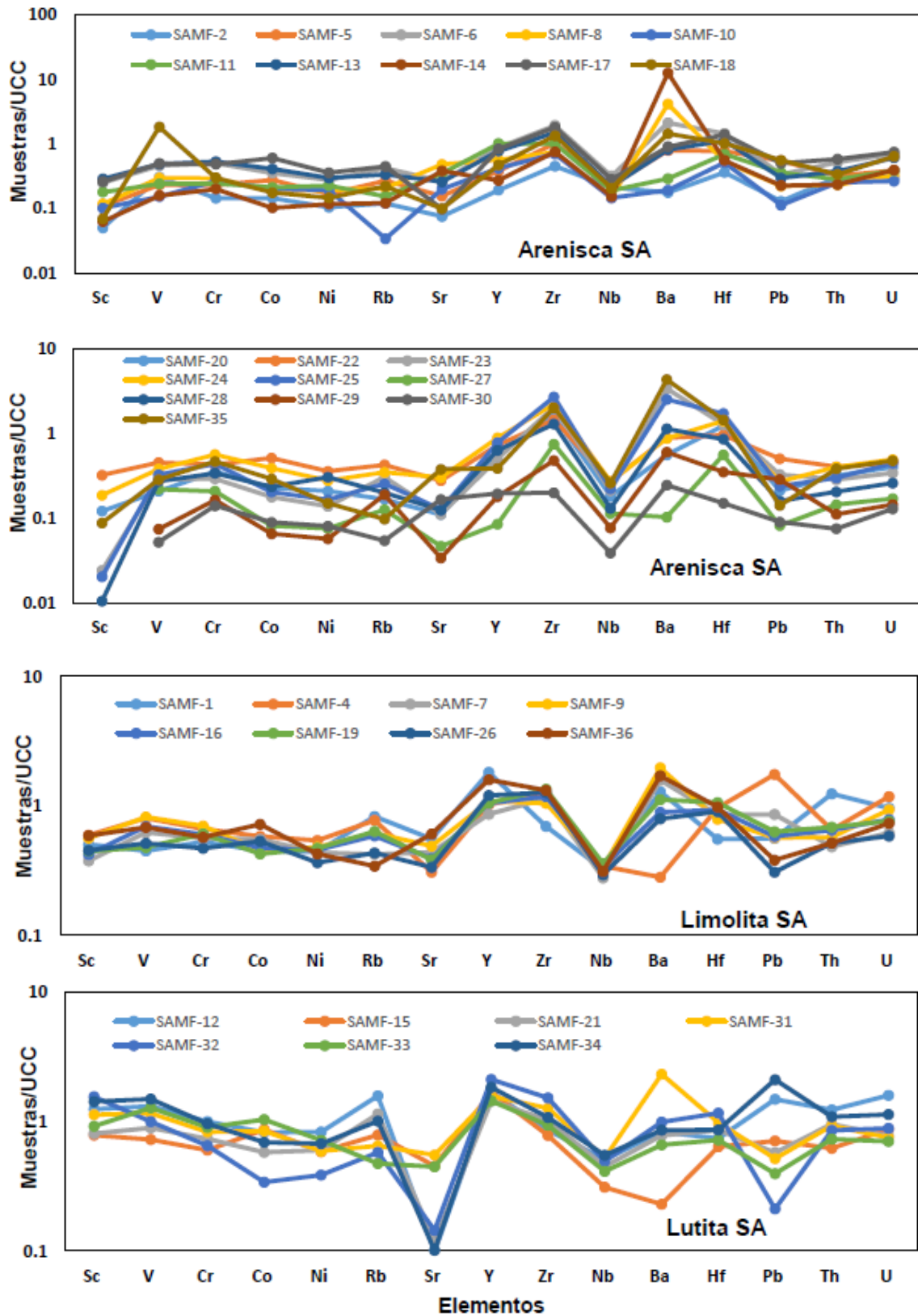


Figura 4.3 Patrones elementos traza sección Sierra Anibacachi normalizados con UCC de Taylor y McLennan (1985).

Grandes variaciones en los contenidos de Σ REE se observan entre las muestras de arenisca, limolita y lutita de la sección Sierra Anibacachi (20.3 – 106.4 ppm, 61 ± 26 ; 90.9 – 180.5 ppm, 114 ± 28 ; 122.9 – 196 ppm, 152 ± 24 ; respectivamente). Esas grandes variaciones observadas en contenidos de Σ REE en las areniscas, limolitas y lutitas pueden deberse a las variaciones composicionales. Los REE están generalmente hospedados en los minerales pesados como el zircón, monacita, etc., (McLennan, 1989), sin embargo, la correlación positiva entre REE y Al_2O_3 sugiere que los minerales de arcilla también son importantes en el alojamiento de los elementos tierras raras (Condie, 1991). La correlación entre Σ REE y Al_2O_3 es importante estadísticamente para las areniscas, limolitas y lutitas ($r=0.72$, $n=20$; $r=0.43$, $n=8$; $r=0.61$, $n=7$; respectivamente), sugiriendo que los REE están principalmente incorporados en los minerales de arcilla.

En los diagramas de REE normalizadas con condrita (McDonough y Sun, 1995), las areniscas, limolitas y lutitas muestran patrones de enriquecimiento en elementos tierras raras ligeras (LREE por sus siglas en inglés) y un relativo plano de tierras raras pesadas (HREE por sus siglas en inglés) (Figura 4.4). La mayoría de las areniscas, limolitas y lutitas muestran significantes anomalías negativas de Eu (Eu/Eu^* : 0.68–0.91, 0.75 ± 0.08 , $n=17$; 0.52–0.73, 0.65 ± 0.07 , $n=8$; 0.57–0.64, 0.59 ± 0.05 , $n=7$; respectivamente). Tres muestras de arenisca presentan anomalías positivas de Eu que van desde leves hasta significantes (Eu/Eu^* : SAMF8: 1.02; SAMF14: 2.57; SAMF35: 1.33). El Europio no es fraccionado ni durante el intemperismo o la diagénesis con respecto a otros elementos vecinos (McLennan, 1989), y el creciente tamaño de la anomalía de Eu en esas rocas sugiere la entrada de rocas fuente con una pronunciada anomalía negativa de Eu.

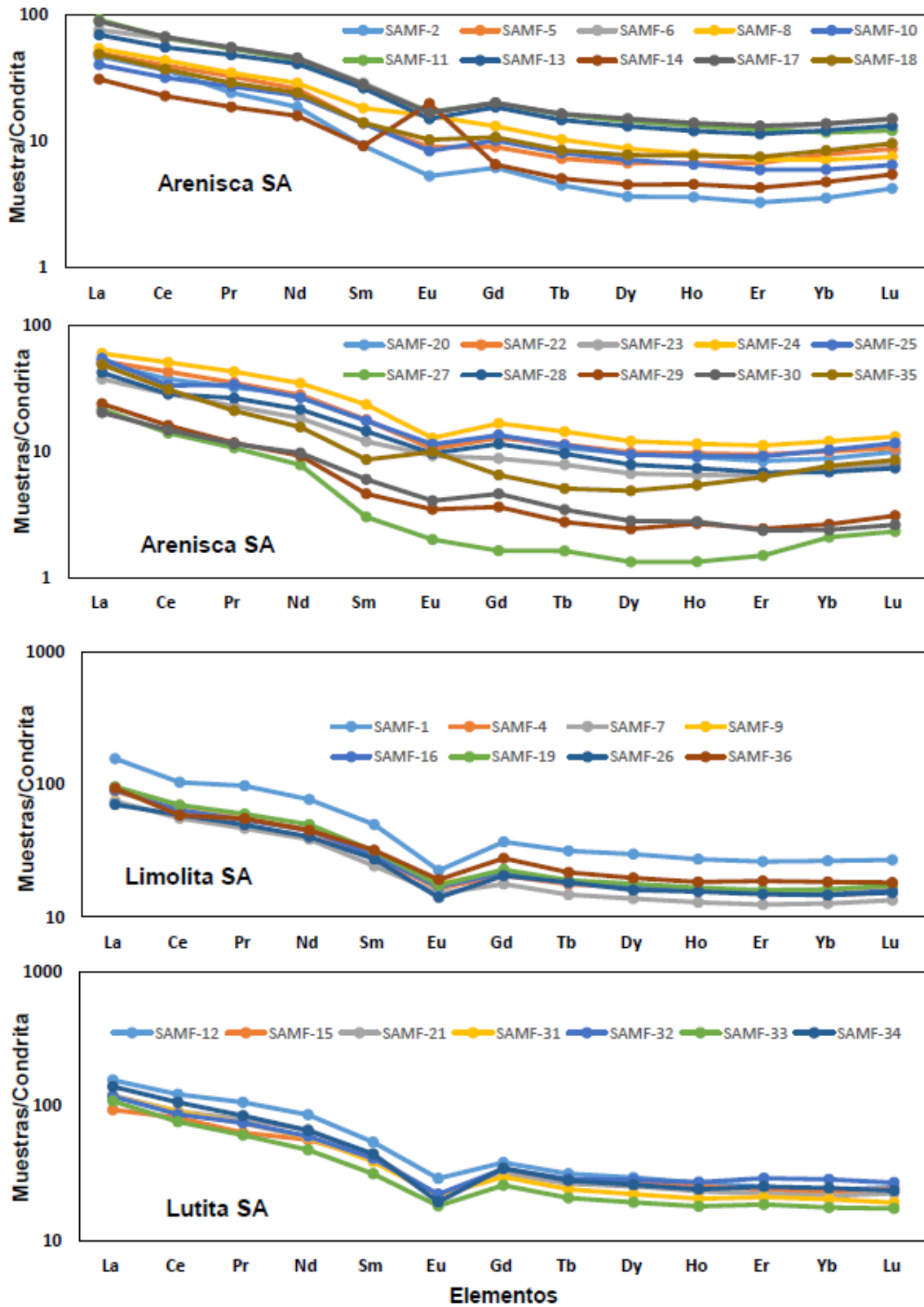


Figura 4.4 Patrones REE sección Sierra Anibacachi normalizados con condrita McDonough y Sun (1995).

4.3.2.2. Sección Rancho Búfalo

Las concentraciones de elementos traza de las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo de la formación Morita están dados en la Tabla 4.6. Las composiciones de elementos traza de las areniscas y limolitas son normalizados con los valores de corteza continental superior (UCC) de Taylor y McLennan (1985) y están graficados en la Figura 4.5. Estas areniscas y limolitas se caracterizan por un empobrecimiento de Sr y Rb cuando son comparados con los valores de UCC. Muchas areniscas y limolitas muestran un enriquecimiento en contenido de Ba. Las areniscas y limolitas están empobrecidas en la mayoría de los HSE tales como Hf, Y, Nb, Th y U cuando son comparados con UCC. Solo pocas muestras señalan un pequeño enriquecimiento de Y comparado con UCC. Además, los elementos traza de transición tales como Sc, V, Cr, Cu, Zn, Co y Ni están empobrecidos en ambas muestras, tanto areniscas como limolitas, comparadas con UCC. Solamente una muestra de limolita esta enriquecida en Co comparada con UCC.

Tabla 4.6 A) Tabla de contenidos de Elementos Traza en ppm para las muestras de la sección Rancho Búfalo.

Roca	Muestra No.	Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Nb	Hf	Pb	Th	U
Arenisca	RBMF-1	2.10	25.47	14.14	3.35	4.29	59.26	10.79	6.17	7.80	7.91	1.40
	RBMF-3	0.47	9.88	5.96	1.10	1.42	26.51	7.85	2.74	6.88	6.57	1.89
	RBMF-4	2.20	16.03	9.94	1.24	1.73	21.96	9.20	3.42	10.85	6.76	1.33
	RBMF-5	1.56	10.01	7.08	1.45	0.93	32.38	8.94	3.24	9.44	6.70	1.39
	RBMF-6	0.62	13.49	8.31	1.61	0.93	21.67	8.98	4.03	6.75	5.52	1.49
	RBMF-8	1.44	18.96	7.36	2.21	0.82	35.08	10.72	3.76	7.41	7.11	1.66
	RBMF-10	1.50	11.04	5.60	0.93	1.01	0.07	7.02	2.88	5.39	5.27	1.33
	RBMF-12	1.56	15.79	5.23	2.65	1.23	27.35	6.91	2.93	3.02	4.94	0.94
	RBMF-13	1.79	12.01	9.20	3.99	2.35	43.57	8.94	3.95	5.93	5.96	1.24
	RBMF-14	0.00	4.77	3.29	1.85	1.34	14.63	4.62	1.72	2.08	4.29	0.93
	RBMF-15	0.46	8.27	5.67	2.78	0.88	15.65	8.43	6.43	2.96	4.63	1.33
	RBMF-16	1.73	22.60	10.86	2.58	5.45	33.08	5.90	4.60	4.22	3.89	1.22
	RBMF-17	0.00	12.76	4.57	0.86	0.40	9.02	5.46	2.01	3.12	2.10	0.61
	RBMF-18	0.22	7.77	3.80	1.47	1.51	7.17	1.61	0.96	1.92	1.03	0.33
	RBMF-19	0.67	24.18	9.52	2.24	2.90	14.95	4.73	3.94	3.49	2.48	0.89
	RBMF-20	0.74	12.27	12.36	2.06	1.90	14.42	5.73	5.15	2.87	3.06	0.86
	RBMF-21	0.48	9.63	4.99	5.64	3.47	26.84	5.65	3.88	23.03	2.38	1.57
	RBMF-22	0.04	10.19	6.11	2.10	2.63	6.07	3.82	5.46	1.62	2.03	0.66
	RBMF-23	2.21	19.49	15.88	4.17	6.37	25.77	6.93	5.99	5.76	4.28	1.22
	RBMF-24	1.32	17.57	15.35	2.28	4.38	14.05	6.71	10.24	4.75	3.61	1.41
RBMF-25	1.87	16.22	13.11	4.17	4.13	11.40	5.93	6.64	5.01	3.36	1.10	
RBMF-26	1.36	11.43	11.72	4.32	5.04	6.77	4.51	4.56	2.20	2.66	0.83	
RBMF-28	0.65	15.18	9.14	2.34	1.63	4.99	5.61	7.60	3.26	3.08	0.90	
RBMF-29	0.52	7.32	6.77	1.68	2.82	5.39	2.60	2.17	1.92	1.59	0.49	
Promedio		1.08±0.72	13.9±5.33	8.45±3.65	2.75±1.92	2.5±1.7	19.23±14.2	6.4±2.44	4.23±2.14	4.72±2.54	4.14±1.92	1.16±.43
Limolita	RBMF-7	4.63	25.94	6.20	4.95	3.09	48.79	12.14	3.89	10.39	8.14	2.76
	RBMF-9	1.15	10.09	6.37	0.66	0.06	2.79	8.91	3.20	2.75	5.82	1.75
	RBMF-11	5.99	54.45	7.50	14.44	4.10	25.21	12.03	4.93	8.90	8.95	9.32
Promedio		3.92±2.5	30.16±22.5	6.68±0.7	9.7±6.7	2.41±2.1	37±16.66	11.02±1.83	4±0.86	7.34±4.04	7.63±1.62	4.61±4.11

Tabla 4.6 B) Tabla de contenidos de Elementos Tierras Raras en ppm para las muestras de la sección Rancho Búfalo.

Roca	Muestra No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	
Arenisca	RBMF-1	30.79	63.03	7.25	25.84	5.11	1.02	0.68	4.59	3.87	0.75	2.08	2.15	0.33	
	RBMF-3	30.36	52.89	6.86	26.47	5.61	0.90	0.67	5.22	3.65	0.73	2.14	2.26	0.34	
	RBMF-4	36.50	70.21	8.10	29.54	5.33	1.08	0.53	4.32	2.67	0.53	1.53	1.52	0.22	
	RBMF-5	9.80	20.49	2.18	8.09	1.76	0.34	0.33	1.98	2.19	0.46	1.33	1.49	0.23	
	RBMF-6	10.75	21.22	2.42	9.19	2.04	0.88	0.34	2.20	2.06	0.43	1.21	1.40	0.22	
	RBMF-8	22.27	42.90	5.00	18.25	3.87	1.20	0.56	3.64	3.29	0.68	1.97	2.12	0.33	
	RBMF-10	20.73	36.57	4.84	18.49	4.35	0.94	0.69	4.71	4.00	0.78	2.08	2.01	0.31	
	RBMF-12	23.63	40.63	4.58	16.78	3.21	1.82	0.44	2.90	2.66	0.58	1.72	1.80	0.27	
	RBMF-13	18.34	29.11	4.07	14.05	2.42	0.37	0.33	2.11	2.15	0.48	1.50	1.86	0.29	
	RBMF-14	24.14	46.86	5.77	21.26	4.10	0.93	0.46	3.35	2.52	0.52	1.52	1.59	0.24	
	RBMF-15	30.73	49.29	6.54	22.72	4.24	0.66	0.52	3.48	3.09	0.67	2.08	2.43	0.38	
	RBMF-16	9.74	19.31	2.32	9.05	1.87	1.55	0.25	1.70	1.49	0.32	0.93	1.07	0.17	
	RBMF-17	7.53	18.37	1.61	6.11	1.08	0.38	0.14	0.99	0.77	0.17	0.45	0.53	0.09	
	RBMF-18	5.82	11.12	1.35	5.47	1.08	0.62	0.16	1.05	0.92	0.20	0.51	0.54	0.08	
	RBMF-19	10.84	22.56	2.81	11.04	2.39	0.62	0.36	2.34	2.12	0.43	1.16	1.19	0.18	
	RBMF-20	11.86	23.63	2.85	10.73	2.08	0.71	0.29	1.92	1.79	0.38	1.08	1.23	0.20	
	RBMF-21	10.34	19.32	2.38	9.19	1.73	0.84	0.24	1.63	1.42	0.31	0.87	0.96	0.15	
	RBMF-22	8.22	16.64	1.86	7.15	1.33	0.31	0.17	1.20	0.93	0.19	0.50	0.56	0.09	
	RBMF-23	15.25	30.07	3.96	15.61	3.49	0.95	0.51	3.37	3.00	0.60	1.65	1.67	0.26	
	RBMF-24	13.25	26.39	3.25	12.71	2.81	0.55	0.43	2.88	2.52	0.52	1.50	1.75	0.29	
	RBMF-25	12.76	25.10	3.15	12.45	2.93	0.66	0.49	3.12	2.93	0.59	1.63	1.72	0.27	
	RBMF-26	12.98	27.25	3.54	14.22	3.33	0.73	0.48	3.25	2.67	0.52	1.38	1.41	0.22	
	RBMF-28	10.20	20.88	2.52	9.69	1.86	0.41	0.25	1.73	1.51	0.33	0.95	1.12	0.19	
	RBMF-29	9.03	17.28	2.11	8.39	1.79	0.88	0.26	1.81	1.49	0.30	0.77	0.78	0.12	
	Promedio		16.34±8.63	31.05±15.4	3.75±1.89	14.11±6.73	2.88±1.33	0.8±0.36	0.39±0.16	2.71±1.17	2.31±0.9	0.47±0.17	1.34±0.51	1.44±0.54	0.22±0.08
	Limolita	RBMF-7	29.15	59.30	6.90	25.22	5.11	0.94	0.69	4.68	4.00	0.80	2.34	2.50	0.38
		RBMF-9	10.85	23.98	2.53	9.60	1.95	0.52	0.30	1.90	1.94	0.44	1.27	1.27	0.19
		RBMF-11	19.86	45.56	4.77	17.88	4.30	0.96	0.70	4.51	4.06	0.77	2.12	2.24	0.33
	Promedio		19.95±9.15	42.9±17.8	4.73±2.18	17.56±7.81	3.78±1.64	0.8±0.24	0.56±0.22	3.69±1.55	3.33±1.2	0.66±0.2	1.9±0.56	2±0.64	0.29±0.09

Los datos de los elementos tierras raras (REE) se muestran en la Tabla 4.6 y los patrones de REE normalizados con condrita son mostrados en la Figura 4.6. Las abundancias en contenido de Σ REE son variables en las areniscas y limolitas (28.9 – 162.1 ppm, 78 ± 37 , $n=24$; 56.7 – 142.0, 102 ± 43 , $n=3$; respectivamente). Los contenidos de Σ REE en las areniscas y limolitas son menores que los valores promedio para UCC (~ 143 ppm; Taylor y McLennan, 1985). Los valores de Σ REE de varias de nuestras muestras de arenisca son <100 ppm, las muestras con bajo contenido de Σ REE generalmente tienen altos contenidos de SiO_2 (82.1 – 93.4%). Tanto las areniscas como las limolitas tienen una correlación positiva entre Σ REE y Al_2O_3 ($r=0.70$, $n=24$; $r=0.85$, $n=3$; respectivamente), sugiriendo que las REE están incorporadas principalmente en los minerales de arcilla. En los diagramas de patrones de REE normalizadas con condrita las areniscas muestran un enriquecimiento en LREE y un plano en HREE con relativamente pequeña a moderada fraccionación en la relación La_N/Yb_N (4.5 – 16.3). Por otra parte, las areniscas señalan anomalías negativas de Eu, sin embargo algunas muestras presentan una significativa anomalía positiva de Eu (Eu/Eu^* : 0.50 – 2.66) mientras que las limolitas tienen anomalías negativas de Eu (0.58 – 0.83). En total, ocho muestras son las que presentan una anomalía positiva de Eu (Eu/Eu^* : 1.13 – 2.66) en esta sección.

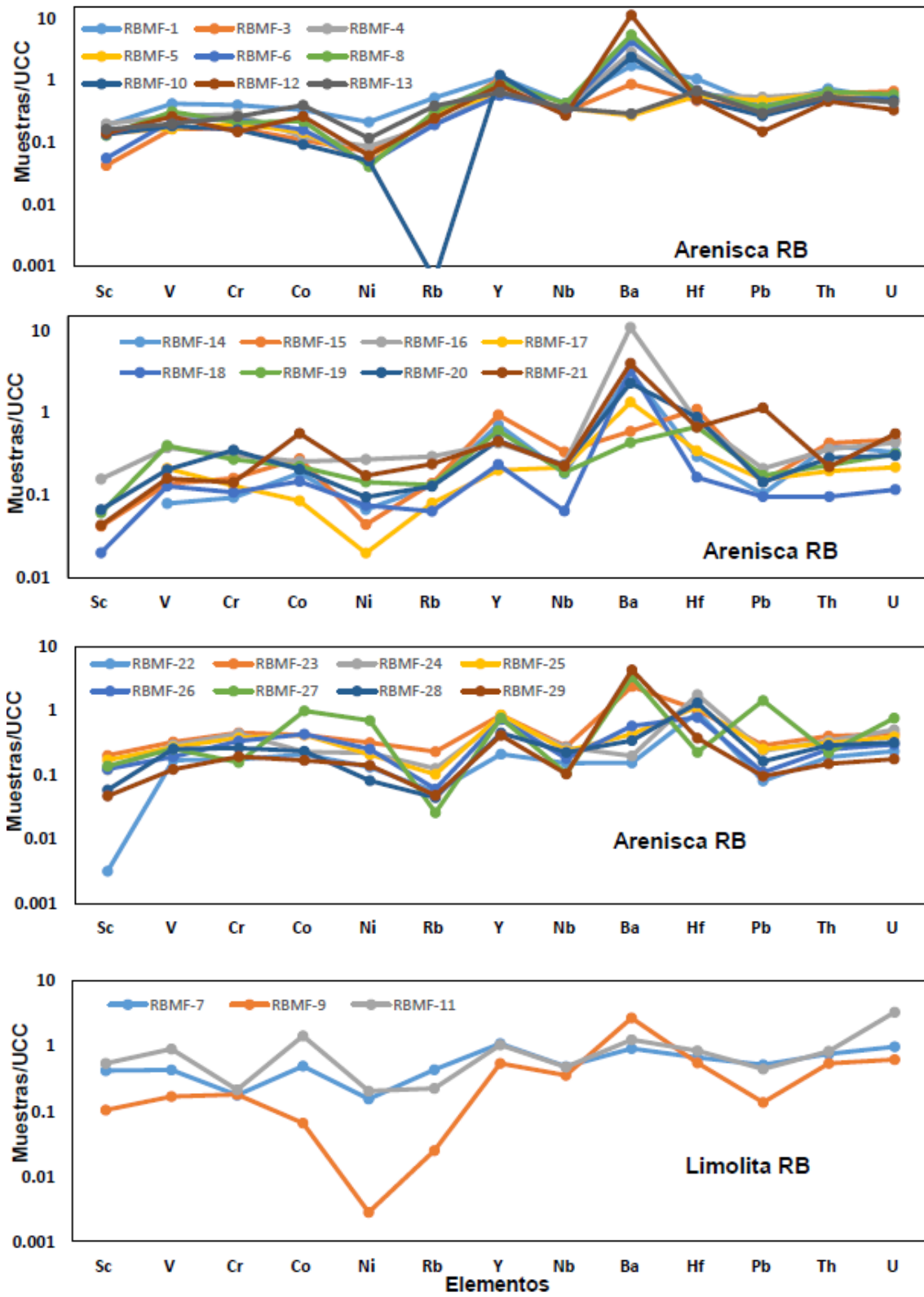


Figura 4.5 Patrones elementos traza sección Rancho Búfalo normalizados con UCC de Taylor y McLennan (1985).

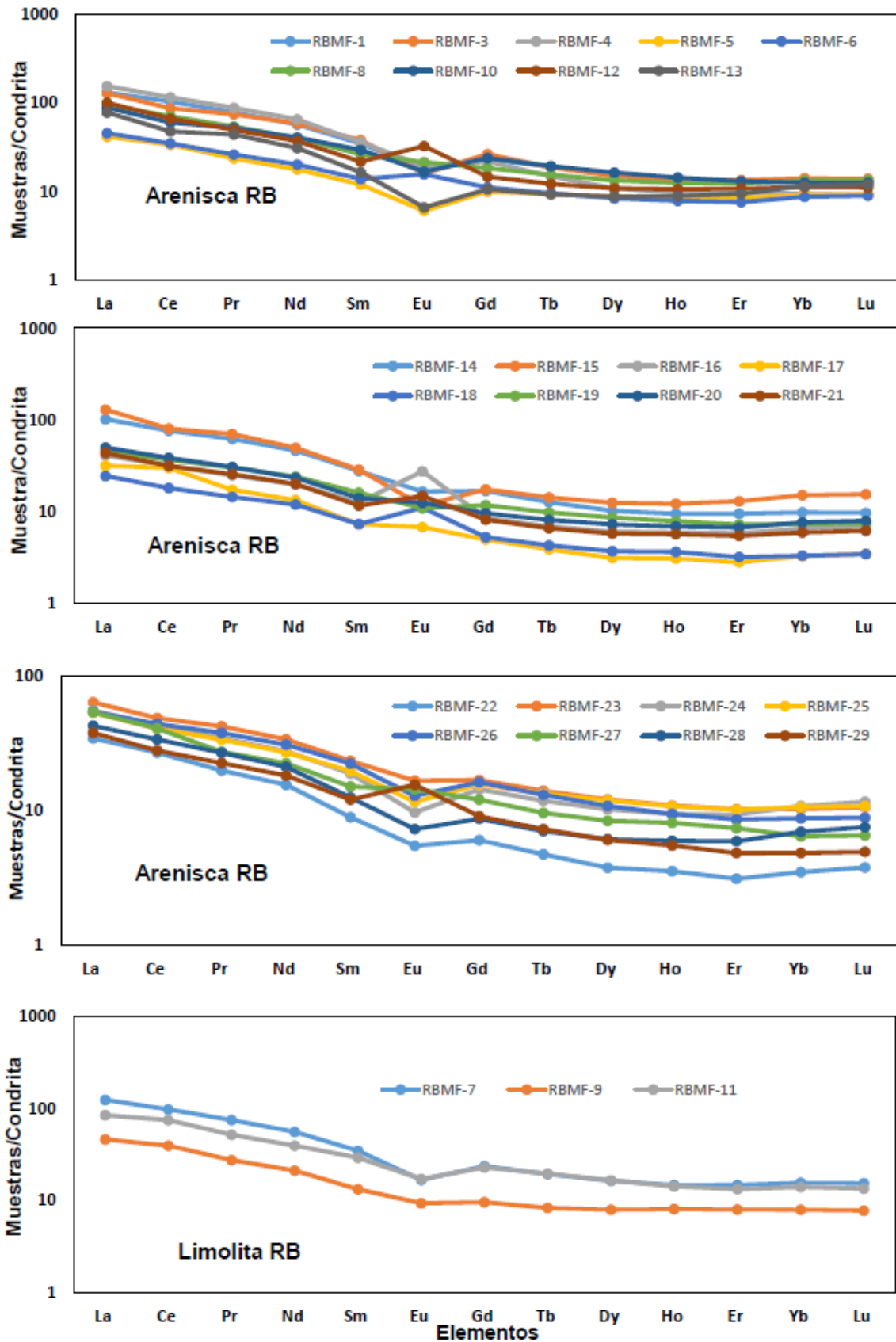


Figura 4.6 Patrones REE sección Rancho Búfalo normalizados con condrita Mcdonough y Sun (1995).

4.4 Discusión

4.4.1 Paleointemperismo

La intensidad y duración del intemperismo de las rocas fuente se puede evaluar en las rocas sedimentarias mediante la relación entre los elementos alcalinos y alcalinotérreos (Nesbitt y Young, 1982). El intemperismo químico de sedimentos ocurre durante el intemperismo de la roca fuente, el transporte en sistemas fluviales, y el reciclado sedimentario, donde cada ciclo involucra intemperismo químico adicional (Pollack, 1961; Franzinelli y Potter, 1983; Johnsson, 1991; Nesbitt *et al.*, 1996). Los efectos del intemperismo químico durante la transportación en sistemas fluviales han sido estudiados por diversos autores (Pollack, 1961; Breyer y Bart, 1978; Franzinelli y Potter, 1983; Johnsson, 1991; Nesbitt *et al.*, 1996) y dichos efectos pueden variar desde insignificantes hasta considerables (Pollack, 1961; Breyer y Bart, 1978; Johnsson, 1991; Nesbitt *et al.*, 1996, 1997) dependiendo de la labilidad de los elementos, el clima, la distancia de transporte y el marco tectónico. Durante el intemperismo, los elementos lábiles como el Na, Ca, Sr son mayormente removidos, mientras que los elementos insolubles tales como Al, Ba, Rb son generalmente fijados en el perfil de intemperismo (Nesbitt *et al.*, 1980). Tales cambios químicos son transferidos al registro sedimentario (e.g., Nesbitt y Young 1982; Wronkiewicz y Condie 1987), proporcionando por lo tanto, una herramienta útil para el monitoreo de las condiciones de intemperismo del área fuente.

Nesbitt *et al.* (1997) han propuesto un perfil de intemperismo idealizado, tal perfil fue dividido en cuatro zonas mineralógicas (Figura 4.7). La zona IV, inmediatamente por encima de la roca fresca, es la menos intemperizada, con abundancia de granos de fragmentos de roca, cuarzo y feldespatos, y la ausencia de minerales de arcilla. La zona III se caracteriza por la abundancia de granos de cuarzo y feldespatos, sin embargo, cantidades apreciables de fragmentos de roca y pequeñas cantidades de minerales de arcilla complejos (esmectita, vermiculita e illita) se encuentran presentes. La zona II, consiste de una abundancia de cuarzo (predominante) y feldespato, abundante mineral de arcilla, particularmente caolinita e illita y ya sea menores cantidades o ausencia de fragmentos de roca. Por último, la Zona I, la cual es la zona más intensamente intemperizada, que contiene abundante cuarzo, en segundo lugar minerales de arcilla, y en tercero los productos de alteración (oxihidróxidos de Al, Fe y Ti).

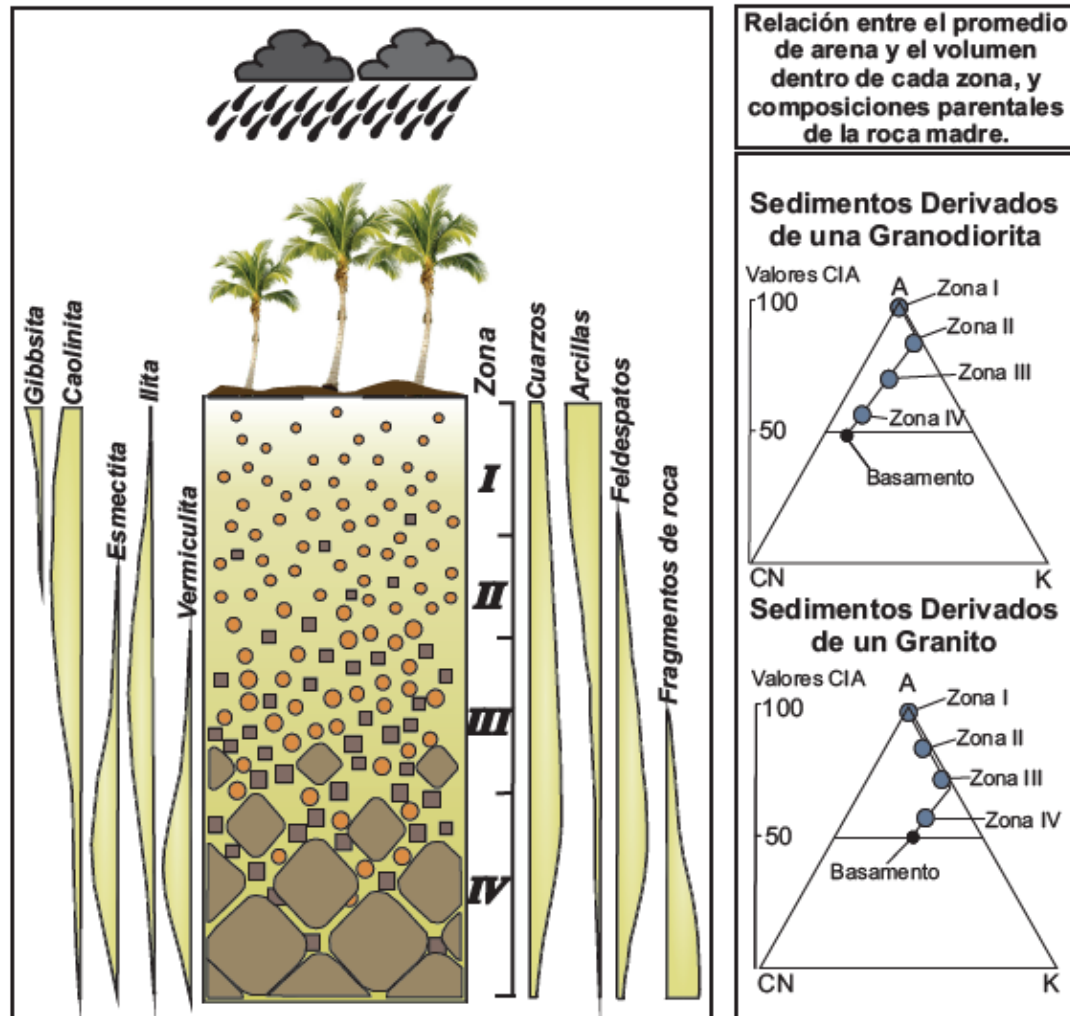


Figura 4.7 Perfil de intemperismo idealizado desarrollado sobre basamento granítico. (Modificado de Nesbitt et al., 1997). Donde, A: Al_2O_3 , CN: $CaO^* + Na_2O$, K: K_2O .

Diversos autores han propuesto varios tipos de índices de intemperismo (Nesbitt y Young, 1982; Harnois, 1988), que son generalmente usados por muchos investigadores alrededor del mundo (Madhavaraju y Ramasamy, 2002; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004; Nagarajan *et al.*, 2007; Bhuiyan *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2012; Zaid, 2012; Madhavaraju, 2015; Ramachandran *et al.*, 2016). El índice químico de alteración (CIA por sus siglas en inglés: Nesbitt y Young, 1982) es ampliamente usado en los estudios geoquímicos sedimentarios para evaluar el grado de intemperismo en el área fuente. El valor CIA se calcula utilizando las proporciones moleculares, de la siguiente fórmula: $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$ (Nesbitt y Young, 1982), donde CaO^* representa la cantidad en los minerales silicatados solamente. En el presente estudio, hemos seguido el método propuesto por McLennan (1993) para calcular el CaO^* , en el cual los valores de CaO son aceptados solamente si $CaO < Na_2O$; por otro lado cuando $CaO > Na_2O$, se asume que el contenido de CaO equivale al de Na_2O y por lo tanto se sustituye con el mismo.

Las areniscas de la sección Sierra Anibacachi muestran variaciones mayores en los valores CIA (40-88) que las limolitas y lutitas (56 – 75, 57 – 75, respectivamente). Las rocas no intemperizadas exhiben valores CIA de 50 y el valor CIA para el rango promedio de las lutitas es de 70-75. Por otra parte, las rocas fuente intensamente intemperizadas muestran valores de 100 para CIA y la composición mineral tiende hacia caolinita o gibbsita. El valor PIA (Índice de alteración de plagioclasas, por sus siglas en inglés) es otro índice para inferir la intensidad de intemperismo químico de las rocas sedimentarias y puede ser calculado de la siguiente manera: $PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)] \times 100$. Los valores PIA de las areniscas, limolitas y lutitas varían entre 39 y 98 (arenisca: 39 – 98, 64 ± 19 , $n=20$; limolita: 58 – 97, 70 ± 12 , $n=8$; lutita: 58 – 96, 82 ± 13 , $n=7$). Las amplias variaciones observadas en los valores para el índice químico de alteración y el índice de alteración de plagioclasas de las areniscas indican un bajo a intenso intemperismo en el área fuente, mientras que los valores CIA para las limolitas y lutitas muestran una intensidad moderada de intemperismo químico en la región fuente. Los valores PIA de las areniscas, limolitas y lutitas son consistentes con los valores CIA.

Por otro lado, para las rocas siliciclásticas de la sección Rancho Búfalo los valores CIA varían de 44 a 91 (arenisca 44-78; excepto una muestra la cual presenta un alto valor CIA de 91; limolitas: 50-69). Similarmente, las areniscas muestran mayores variaciones en sus valores de PIA (44 – 96, 60 ± 14 , $n=24$) que las limolitas (50 – 71, 59 ± 11 , $n=3$), lo que sugiere que la región fuente de la cual se derivaron las areniscas fue intemperizada con una intensidad baja a intensa, mientras que las limolitas recibieron sedimentos de una roca fuente afectada por un bajo a moderado grado de intemperismo químico.

Además, un diagrama ternario $Al_2O_3-CaO^* + Na_2O-K_2O$ (A-CN-K) es una herramienta importante para examinar la tendencia de intemperismo de las rocas fuente, esto porque la corteza superior está dominada por las rocas ricas en plagioclasas y feldespatos-K y sus productos de intemperismo (Nesbitt y Young, 1984, 1989; Fedo *et al.*, 1995). Los sedimentos derivados de las rocas ígneas durante la etapa inicial de intemperismo, caen principalmente a lo largo de la línea A-CN, porque el Na_2O y CaO son lixiviados de la plagioclasa disuelta anteriormente. La destrucción de la plagioclasa ocurre durante el incremento de la intensidad de intemperismo de la roca fuente, que conduce a la pérdida significativa de Ca y Na de los feldespatos de plagioclasa y los sedimentos resultantes caen principalmente paralelos al eje A-K.

En el diagrama A-CN-K, la mayoría de las areniscas y limolitas además de en pocas lutitas de la sección Sierra Anibacachi se forma una tendencia lineal (línea discontinua) la cual es paralela al plano A-CN, mientras que muchas muestras de lutitas y pocas de arenisca son graficadas paralelamente al plano A-K, y además, pocas muestras de arenisca se aproximan hacia "A" (Figura 4.8). La mayoría de las areniscas y limolitas caen dentro de la gráfica como un grupo, mientras gran parte de las muestras de lutita se

grafican como un grupo reducido, y por último pocas muestras de arenisca como otro grupo. Una gran parte de las muestras de arenisca son graficadas cercanas a la línea de unión de feldespatos, sugiriendo que las Zonas III y IV contribuyeron significativamente a los sedimentos (vea la zona de clasificación en Nesbitt *et al.*, 1997). Pocas areniscas caen dentro de la gráfica cercanas al límite A-K, lo que indica una remoción de plagioclasa producto del intemperismo químico y un enriquecimiento residual de cuarzo. Lo anterior sugiere que esas areniscas fueron principalmente derivadas de la Zona II.

Dos muestras de lutita, caen en la gráfica, ligeramente alejadas de la línea de unión de feldespatos, indicando que prácticamente ha ocurrido un intemperismo químico menor, y que las muestras de lutita se componen principalmente de rocas de basamento trituradas en lugar de minerales de arcilla aluminosos. El resto de las muestras caen en la gráfica como un grupo y se localizan a lo largo de la línea A-K, sugiriendo que las lutitas recibieron sedimentos principalmente de las Zonas III y IV. Esto además, apoya la idea de que las areniscas fueron sometidas a una intensidad de intemperismo químico que iba desde bajo a intenso en la región fuente, mientras que las limolitas y lutitas recibieron los sedimentos de rocas fuente intemperizadas con una intensidad de baja a moderada.

De igual manera, en el diagrama A-CN-K, la mayoría de las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo (Figura 4.9) forman una tendencia lineal (línea discontinua), la cual es paralela al plano A-CN, en el cual una muestra se aproxima al vértice "A". Muchas areniscas y dos limolitas se ubican cerca de la línea de unión de feldespatos, mientras que algunas areniscas y una limolita se grafican alejadas de la línea de unión de los feldespatos, lo que indica que esas areniscas y limolitas son derivadas principalmente de las Zonas III y IV del perfil de intemperismo en la región de origen (e.g., Nesbitt *et al.*, 1997).

Una arenisca se grafica cerca al vértice "A", indicando que tiene aporte de la Zona II. Esto sugiere que esas areniscas y limolitas recibieron sedimentos de rocas fuente afectadas por un grado de intemperismo químico que iba desde bajo a moderado (excepto la muestra RBMF22, la cual muestra un intenso grado de intemperismo químico).

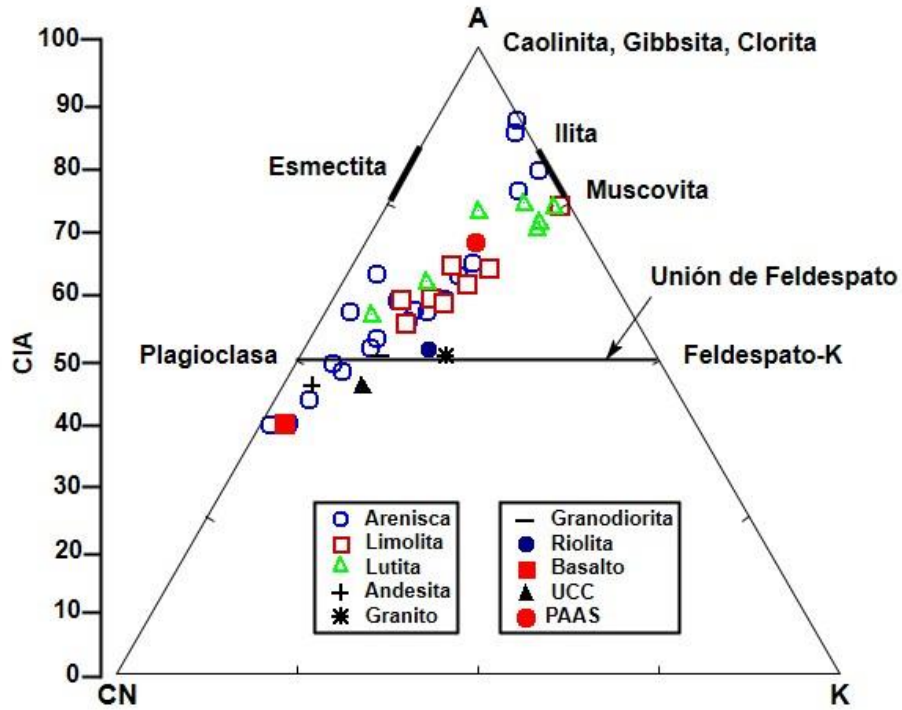


Figura 4.8 Diagrama ternario A-CN-K (de Nesbitt y Young, 1984). A: Al_2O_3 ; CN: $CaO^* + Na_2O$; K: K_2O (proporción molar) sección Sierra Anibacachi.

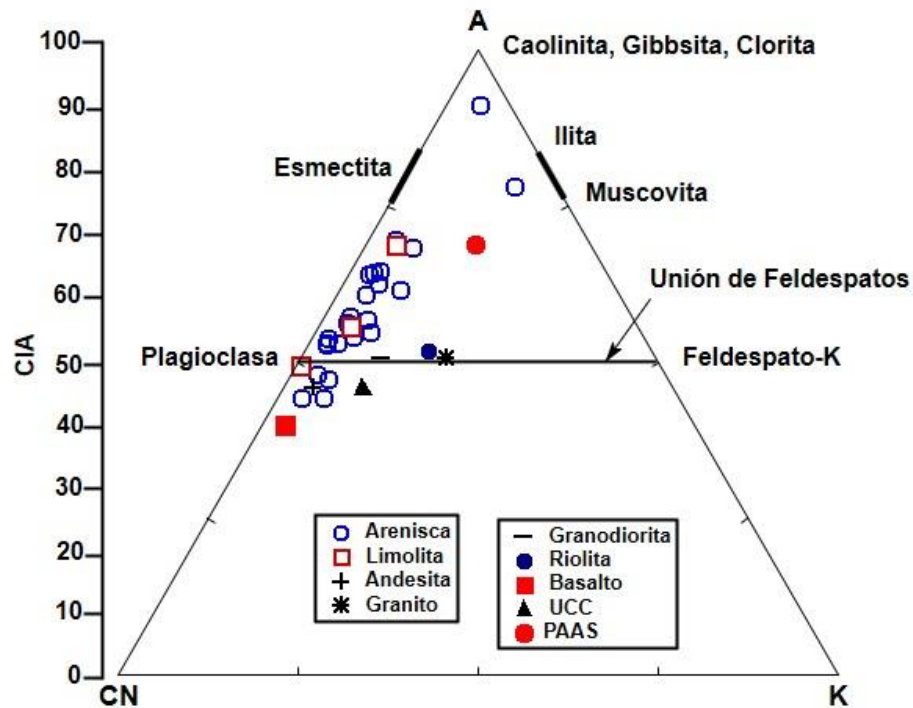


Figura 4.9 Diagrama ternario A-CN-K (de Nesbitt y Young, 1984). A: Al_2O_3 ; CN: $CaO^* + Na_2O$; K: K_2O (proporción molar) sección Rancho Búfalo.

El diagrama ternario A-CN-K puede ser usado para ilustrar los valores CIA gráficamente, para inferir la composición de la roca fuente, el grado de metasomatismo potásico post-depositacional y para evaluar el rol del intemperismo estático y no estático (Nesbitt y Young, 1984; Fedo *et al.*, 1995; Nesbitt *et al.*, 1996, 1997). En el presente estudio, las rocas siliciclásticas de ambas secciones muestran valores CIA bastante variables y también exhiben una importante dispersión a lo largo de la tendencia de intemperismo proyectada. Tal intemperismo no uniforme es típico de un estado no estático de las condiciones de intemperismo, lo que indica un tectonismo activo que permite la erosión de todas las zonas dentro del perfil de intemperismo desarrolladas sobre la roca fuente (e.g., Nesbitt *et al.*, 1997).

La intensidad del intemperismo químico puede ser monitoreada utilizando el Índice Químico de Variabilidad (ICV por sus siglas en inglés; Cox *et al.*, 1995). Durante el intemperismo químico, el contenido de alúmina se incrementa y simultáneamente el contenido de materiales ferromagnesianos disminuye. Por lo tanto, estos dos parámetros proporcionan la información respecto a la madurez de las rocas sedimentarias. La madurez de las rocas sedimentarias es calculada utilizando los valores ICV ($ICV = (CaO + Na_2O + Fe_2O_3 + MgO + MnO + TiO_2)/Al_2O_3$). Estos valores para las areniscas, limolitas y lutitas de la sección Sierra Anibacachi varían significativamente (0.24 – 3.73, 1.64 ± 1.04 , $n=20$; 1.96 – 3.16, 2.36 ± 0.42 , $n=8$; 0.71 – 2.41, 1.21 ± 0.55 , $n=7$; respectivamente). En cambio, los valores ICV para las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo tienen un rango entre 0.49-2.70 (1.29 ± 0.66 , $n=24$) y entre 0.73-1.23 (0.95 ± 0.26 , $n=3$), respectivamente.

Las rocas siliciclásticas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo muestran grandes variaciones en los valores ICV, indicando que esas muestras son composicionalmente de carácter inmaduro a maduro. Las rocas sedimentarias con tales variaciones amplias en valores ICV se encuentran principalmente en los marcos tectónicamente activos (Cox *et al.*, 1995), donde los sedimentos pueden ser derivados de varias zonas que contienen sedimentos inmaduros a maduros. Es por eso, que no se permitió que los sedimentos perdieran elementos lábiles y convertir los minerales primarios como feldespato en minerales de arcilla ricos en aluminio, por lo tanto, los sedimentos resultantes tienen valores ICV más altos (e.g., Mondal *et al.*, 2012). Este estudio sugiere que las rocas sedimentarias con mayores valores ICV derivaron principalmente de la Zona IV del perfil de intemperismo de la región fuente.

4.4.2 Marco tectónico

La petrografía y geoquímica de las rocas clásticas se ha utilizado comúnmente para discriminar los ambientes tectónicos de cuencas antiguas (Dickinson y Suczek, 1979; Maynard *et al.*, 1982; Bhatia, 1983; Dickinson *et al.*, 1983; Roser y Korsch, 1985, 1986,

1988; Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1986; McLennan y Taylor, 1991; Spalletti *et al.*, 1991, 1992; McLennan *et al.*, 1993; Murray, 1994). Sin embargo, numerosos investigadores han expresado serias dudas sobre la posibilidad de discriminar los marcos tectónicos a partir del uso de datos geoquímicos (e.g., Ryan y Williams, 2007; Pe-Piper *et al.*, 2008) debido a diversos factores como: la roca fuente, su litología, ambientes tectónicos, el clima, el relieve y pendiente del área fuente. Por lo tanto, las interpretaciones de las placas tectónicas en las que se depositan las rocas sedimentarias no se llevan a cabo en términos de esos marcos tectónicos pese a que estos mismos son obtenidos de diagramas de discriminación multi-dimensional tectonomagmáticos para rocas ígneas (Verma *et al.*, 2006, 2013; Verma, 2010, 2013).

Bhatia (1983) además de Roser y Korsh (1986) han propuesto diversos diagramas como: 1) TiO_2 vs Fe_2O_3+MgO , 2) Al_2O_3/SiO_2 vs Fe_2O_3+MgO y 3) K_2O/Na_2O vs SiO_2 para identificar los ambientes tectónicos de cuencas desconocidas. Por ejemplo, contenidos de TiO_2 , Fe_2O_3+MgO y la relación de Al_2O_3/SiO_2 disminuyen, y relaciones K_2O/Na_2O ; $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ se incrementan gradualmente en areniscas de ambientes de arco de islas oceánicas, con respecto a las arco de islas continental, y estas a las de margen activo continental, a las de márgenes pasivos (Bhatia, 1983; Roser, 2000; Mader y Neubauer, 2004; Gabo *et al.*, 2009). Esos diagramas son extensamente usados desde su creación, pero no integran análisis estadísticos lógicos de datos composicionales (Thomas y Aitchison, 2005; Agrawal and Verma, 2007; Verma, 2010, 2012; Verma y Armstrong-Altrin, 2013), y diversos autores han expresado preocupación sobre la posibilidad de discriminar marcos tectónicos desde datos geoquímicos (e.g., Ryan y Williams, 2007; Pe-Piper *et al.*, 2008; von Eynatten y Dunkl, 2012).

Los diagramas de discriminación de marco tectónico propuestos por Bhatia (1983) y Roser y Korsch (1986) fueron evaluados por Armstrong-Altrin y Verma (2005), quienes concluyeron que el porcentaje de éxito para el diagrama de Roser y Korsch (1986) es mucho mejor que el de los diagramas de Bhatia (1983). Además, numerosos investigadores han expresado la desventaja de esos diagramas discriminatorios tradicionales para rocas siliciclásticas (e.g., Weltje, 2006, 2012; Caja *et al.*, 2007; Borges *et al.*, 2008; Armstrong-Altrin, 2009; Guo *et al.*, 2011; Caracciolo *et al.*, 2012; Ghosh *et al.*, 2012; Zaid, 2012).

La mayoría de las areniscas de la sección Sierra Anibacachi caen cercanas al campo de margen pasivo en el diagrama de marco tectónico obtenido a partir de los datos Al_2O_3/SiO_2 vs Fe_2O_3+MgO (Figura 4.10A) propuesto por Bhatia (1983), mientras que las limolitas se grafican en el campo de margen activo continental, y las muestras de lutita caen cercanas al campo de arco continental. Ambas muestras de la sección Rancho Búfalo caen en el campo de margen pasivo (Figura 4.10B). Las rocas siliciclásticas de la

sección Sierra Anibacachi muestran mayor variación en el contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ que las muestras de la sección Rancho Búfalo.

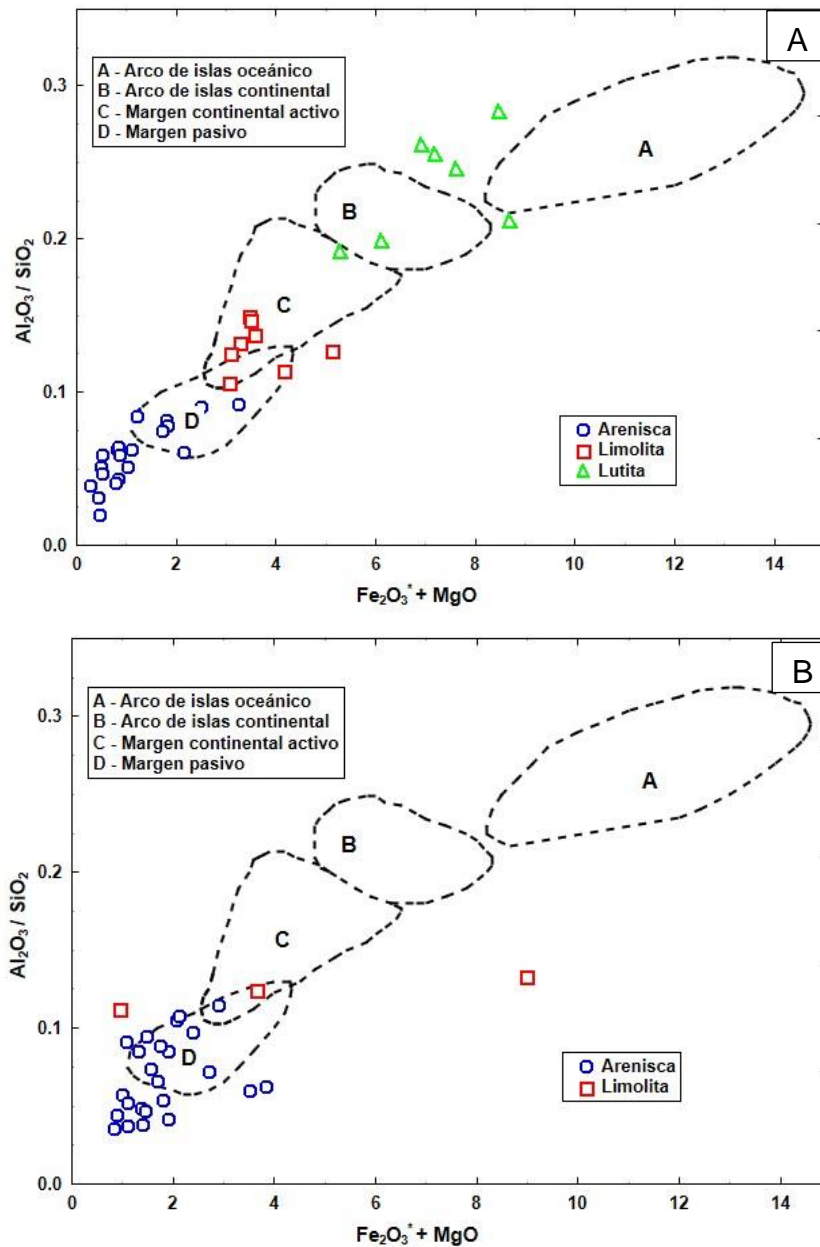


Figura 4.10 Diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ vs $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ de Bhatia (1983). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

En el diagrama TiO_2 vs $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (Figura 4.11A) de Bhatia (1983), las areniscas de la sección Sierra Anibacachi caen en el campo de margen pasivo, mientras que las limolitas caen en los campos de margen continental pasivo y activo, y las lutitas se encuentran cercanas y dentro del campo de arco continental. Igualmente, las areniscas y limolitas de

la sección Rancho Búfalo se grafican alrededor de los campos de margen activo y pasivo continental (Figura 4.11B).

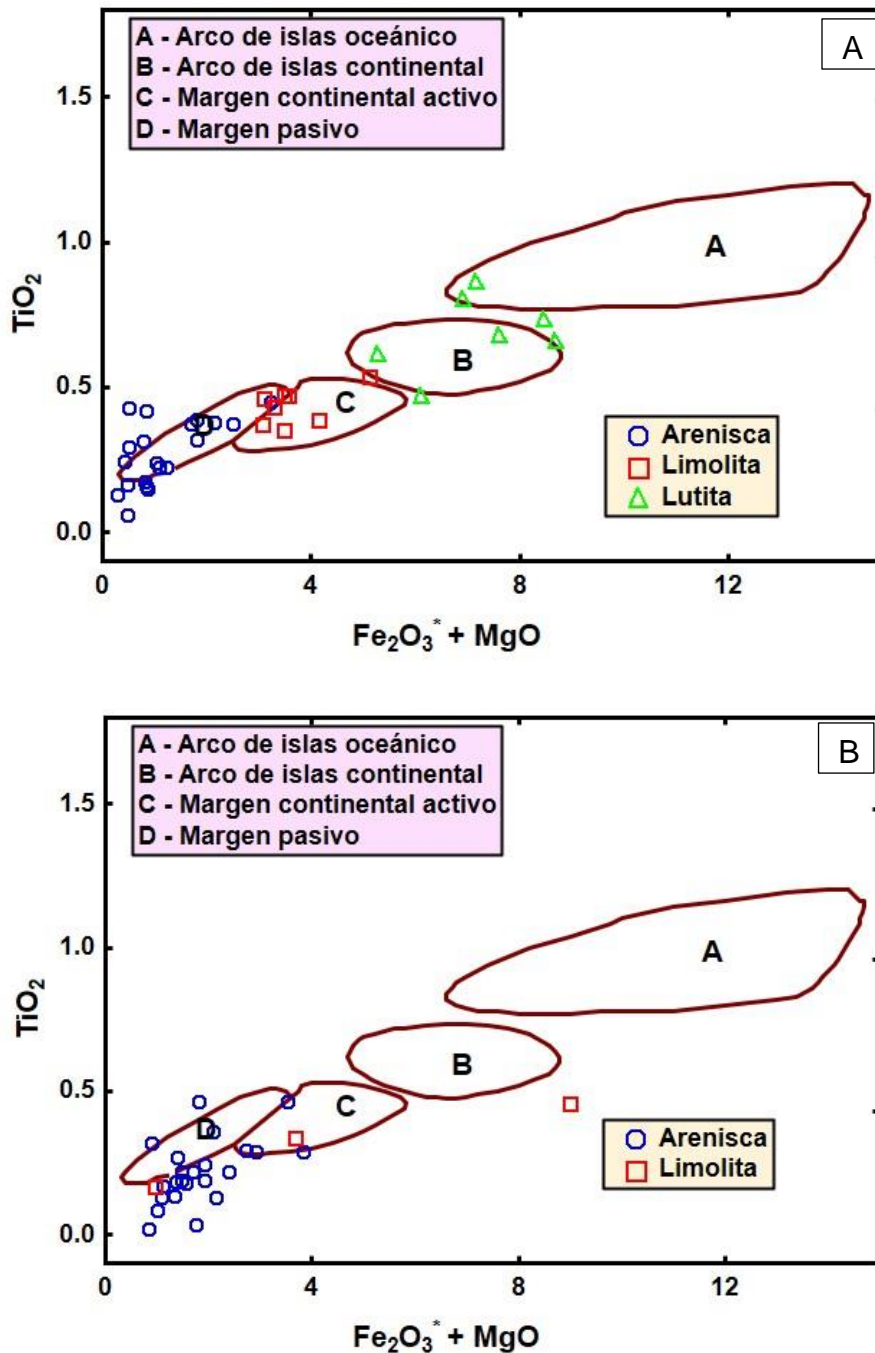


Figura 4.11 Diagrama Fe_2O_3+MgO vs TiO_2 de Bhatia (1983). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

Las areniscas, limolitas y lutitas de la sección Sierra Anibacachi caen en los campos de margen pasivo continental y margen activo continental en el diagrama de SiO_2 , contra la relación K_2O/Na_2O de Roser y Korsch (1986) (Figura 4.12A). La mayoría de las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo caen en el campo de margen activo continental

en el diagrama SiO_2 contra la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (Figura 4.12B), mientras pocas muestras se grafican en los campos margen continental pasivo y arco de islas.

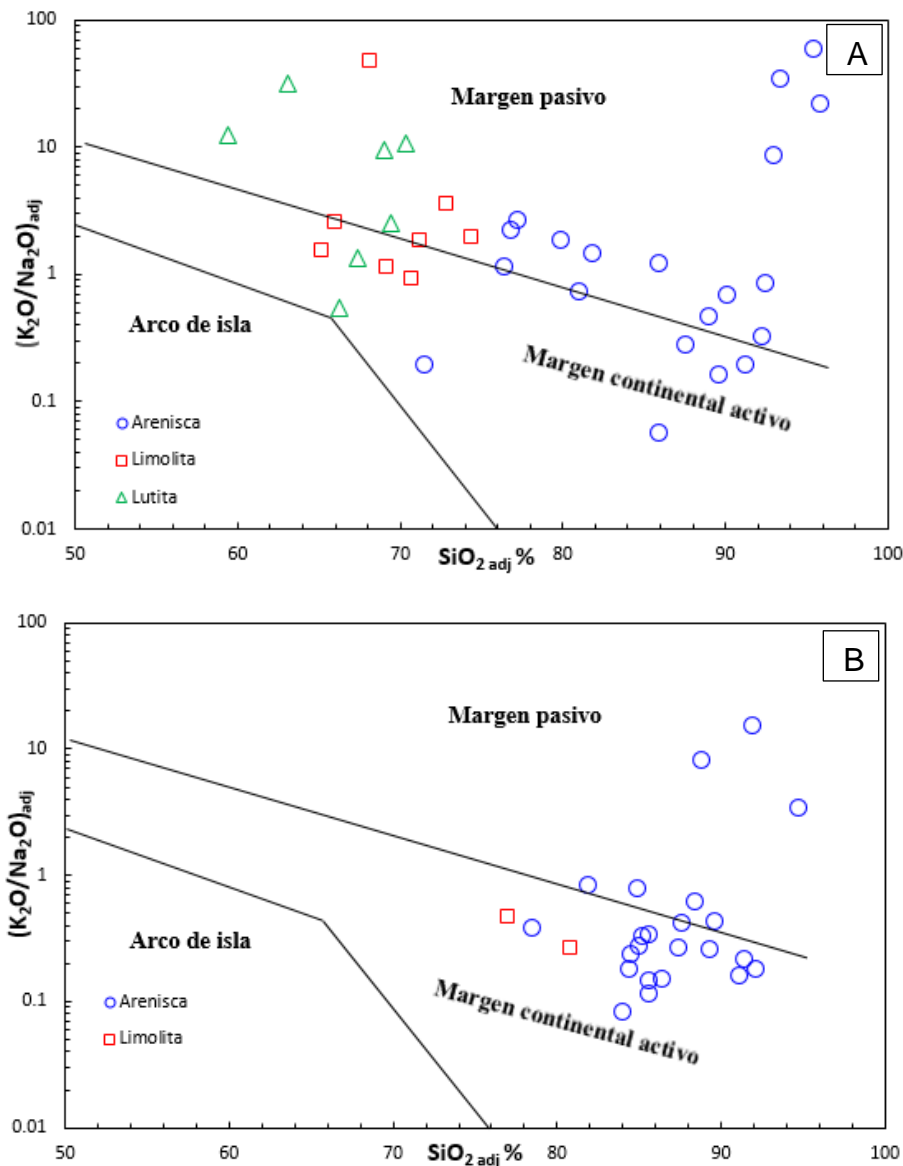


Figura 4.12 Diagrama SiO_2 adj vs $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ de Roser y Korsch (1986). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

Bhatia y Crook (1986) también propusieron diagramas de marcos tectónicos basados en elementos traza ($\text{La}/\text{Y}-\text{Sc}/\text{Cr}$), estos diagramas proporcionan mejores resultados que los diagramas de óxidos mayores. En los diagramas $\text{La}/\text{Y}-\text{Sc}/\text{Cr}$ (Figura 4.13A) la mayoría de las areniscas de la sección Sierra Anibacachi caen alrededor del campo de margen pasivo, mientras que las limolitas y lutitas se grafican en los campos de arco continental y arco de islas oceánicas. Las muestras de arenisca de la sección Rancho Búfalo caen en los campos de margen pasivo continental, arco continental y arco de islas oceánicas (Figura 4.13B). Una de las muestras de arenisca cae en el campo margen activo

continental. Igualmente, una muestra de limolita cae en el campo de arco continental, mientras que las dos muestras restantes no caen dentro de ningún campo en específico. Las rocas siliciclásticas de la sección Rancho Búfalo muestran una amplia variación de marcos tectónicos en el diagrama de Bhatia y Crook (1986) basado en elementos traza.

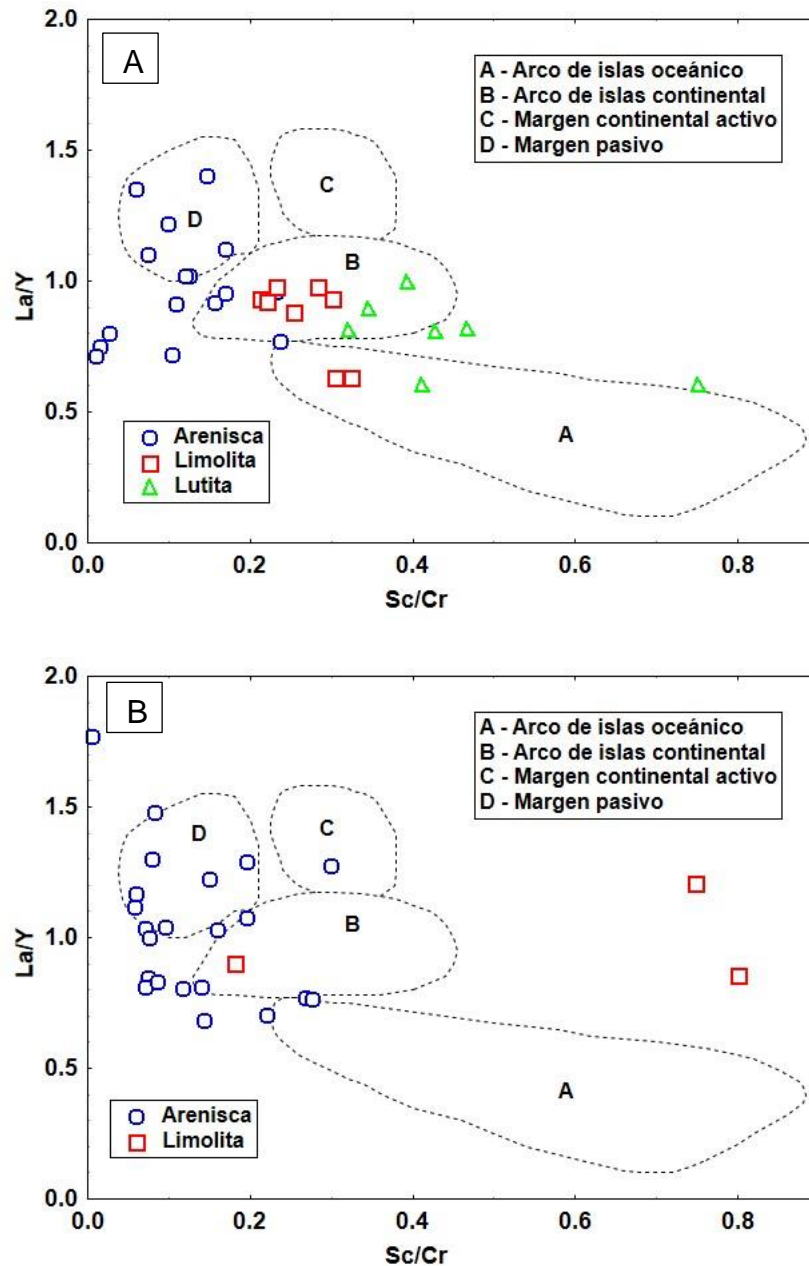


Figura 4.13 Diagrama La/Y–Sc/Cr de Bhatia y Crook (1986). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

Por otra parte, basado en contenidos de óxidos mayores, Verma y Armstrong-Altrin (2013) propusieron dos nuevos diagramas de función discriminante para identificar

ambientes tectónicos de los sedimentos siliciclásticos en arco de islas/o continental, rift continental, y colisión. Estos diagramas incluyen la discriminación tectónica basada en rocas con alto sílice [$(\text{SiO}_2)_{\text{adj}} = 63\%–95\%$] y bajo sílice [$(\text{SiO}_2)_{\text{adj}} = 35\%–63\%$]. Estos dos diagramas fueron creados basados en los datos publicados de siliciclastos del Neógeno-Cuaternario de ambientes tectónicos conocidos, la transformación de la relación \log_e de los 10 elementos mayores con el SiO_2 como el común denominador, y el análisis discriminante lineal de la relación de datos transformada a \log_e .

En este estudio, las rocas siliciclásticas de las secciones Sierra Anibacahi y Rancho Búfalo contienen valores mayores que 63% de $\text{SiO}_{2\text{adj}}$. Por lo tanto, se usaron los diagramas de función discriminante basados en alto sílice para estas rocas sedimentarias con el fin de identificar los ambientes tectónicos de la Formación Morita. En este diagrama (Verma y Armstrong-Altrin, 2013), las areniscas de la sección Sierra Anibacachi caen en los campos de arco, colisión y rift; mientras las limolitas caen en los campos de rift y colisión (Figura 4.14A). Sin embargo, la mayoría de las areniscas, limolitas y lutitas se encuentran en el campo de colisión. Igualmente, las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo también se grafican en el diagrama de función discriminante basado en alto sílice, donde la mayoría de las areniscas y limolitas se grafican en el campo de arco (Figura 4.14B). Sin embargo, algunas areniscas se grafican en el campo de colisión.

Los resultados obtenidos de los diagramas de función discriminante propuestos por Verma y Armstrong-Altrin (2013) son consistentes con la evolución tectónica regional del área de estudio. La mayoría de las muestras de la sección Sierra Anibacachi caen en el campo de colisión, sin embargo algunas muestras caen en los campos de arco y rift. Por otra parte, la mayoría de las muestras de la sección Rancho Búfalo caen en el campo de arco y unas pocas muestras en el campo de colisión. Esto sugiere que las rocas siliciclásticas colectadas de la sección Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo recibieron sedimentos de varias proporciones de diferentes marcos tectónicos.

La mayoría de las muestras de la Formación Morita en la Sierra Anibacachi fueron graficadas en el campo de colisión, lo que sugiere que tanto las rocas del Esquisto Pinal (Condie y DeMalas, 1985) como de los intrusivos proterozoicos asociados que actualmente se encuentran aflorando hacia al oeste y suroeste del poblado de Cabullona (Servicio Geológico Mexicano, 2003), aportaron sedimentos a esta cuenca. Así mismo, intrusiones precámbricas reportadas por Drewes (1980) en el sureste de Arizona al norte del área de estudio, cuyas edades van desde 1300 a 1700 Ma, también debieron aportar sedimentos para esta formación durante el Cretácico, representados por porcentajes integrados mayores al 50% de zircones detríticos precámbricos que presentan las muestras estudiadas en este trabajo.

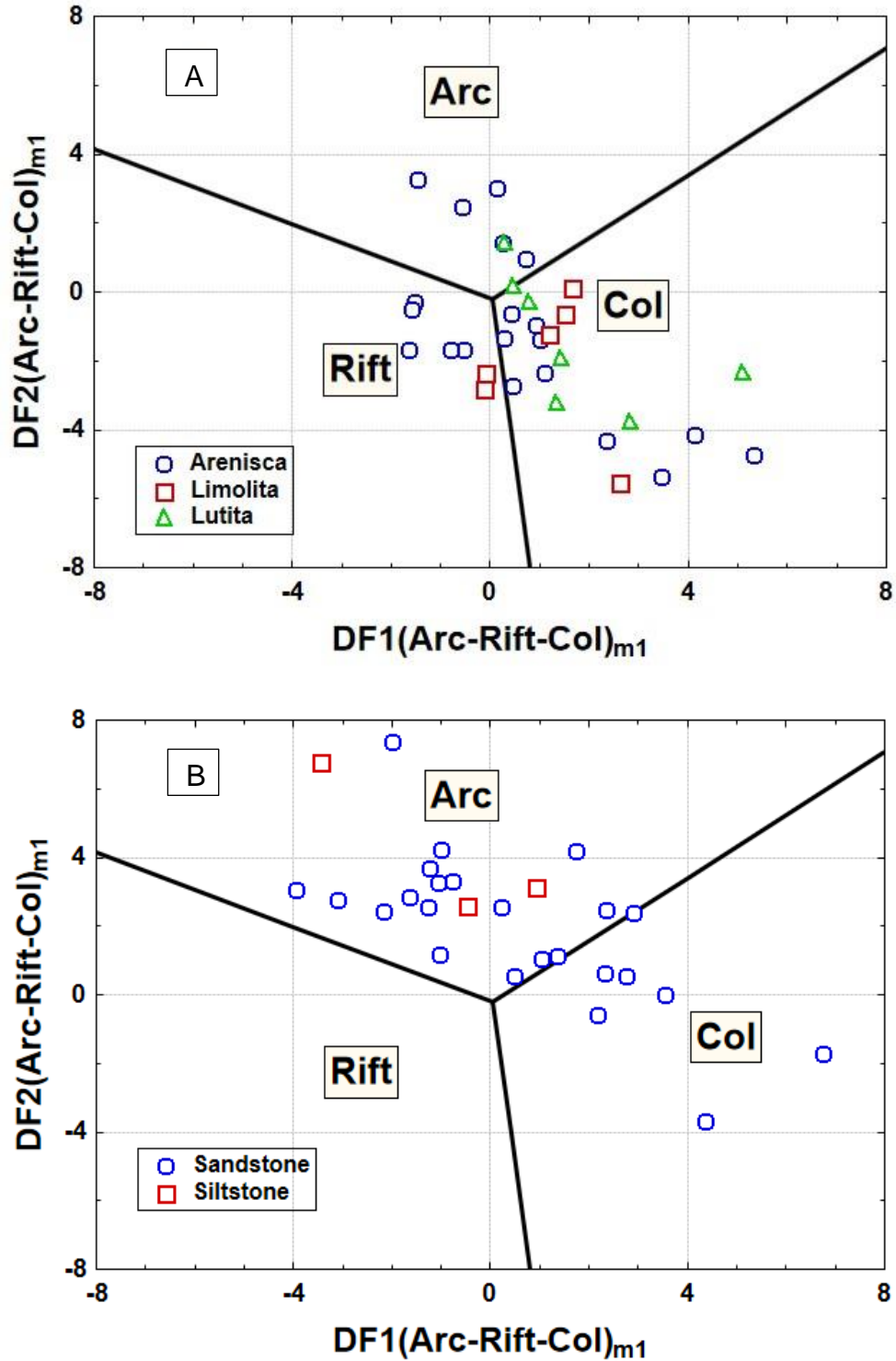


Figura 4.14 Diagrama de funciones discriminantes de Verma y Armstrong-Altrin (2013). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo. Arc: Arco, Rift y Col: Colisión.

Por su parte, la procedencia de arco se sustenta seguramente por el aporte de sedimentos de intrusiones triásicas (probablemente del arco permo-Triásico) que se tiene en las Montañas Santa Rita en el sur de Arizona (Drewes, 1980), de igual manera de los

granitoides permo-triásicos de origen de arco magmático continental que están expuestos en las áreas de Sierra Pinta, Sierra Los Tanques y Sierra San Francisco (Arvizu *et al.*, 2009; Arvizu, 2012); así como de rocas volcánicas e intrusivos jurásicos (Arco Jurásico/Alto Cananea) ampliamente distribuidos en el centro norte de Sonora, en las sierras El Pinito y Mariquita, y sur centro suroeste de Arizona en las montañas Santa Rita y Cerros Canelo (Kluth, 1982). Es importante mencionar que las poblaciones de zircones detríticos de edad triásica en zircones detríticos van del 25% al 30%. Además rocas proterozoicas formadas en un marco de arco continental están bien expuestas en el Bloque Caborca (Iriondo *et al.*, 2004), y pueden ser consideradas como una de las rocas fuente de las Formación Morita.

Busby *et al.* (2005) sugieren que un sistema de cuencas de graben y medio graben (Cuenca Bisbee) se formó bajo un rifting de trasarco en el marco de un arco continental transtensional, y Dickinson y Lawton (2001) proponen que erupciones volcánicas de rift continental dentro de esta cuenca ocurrieron durante el Jurásico Tardío. La erosión de estos elementos evidencia la procedencia de rift que fue obtenida en el análisis geoquímico de las areniscas de la Formación Morita en este trabajo.

Los resultados geoquímicos para las muestras de areniscas de la Formación Morita en la localidad Rancho Búfalo, determinan una procedencia tectónica básicamente similar a las de la Sierra Anibacachi, con la diferencia de que la procedencia de rift no es identificada en Rancho Búfalo. Además, para esta porción de la cuenca, quienes aportaban la mayor cantidad de detritos fueron los afloramientos de los arcos permo-triásicos y Triásico-Jurásico, toda vez que la mayoría de las areniscas caen en este campo, además de que la muestra basal (RBMF 1) contiene una gran cantidad de zircones detríticos de estas edades (80%). Precisamente el análisis de las poblaciones de edad de los zircones detríticos, sugiere que al inicio del depósito de la Formación Morita, las rocas de los arcos antes mencionados aportaron una gran cantidad de sedimentos, sin embargo, sedimentos erosionados de los basamentos proterozoicos fueron abundantes posteriormente (muestra RBMF 2); mientras que en los estudios finales de depósito, aparecen zircones detríticos de edad cretácica (muestra RBMF28), los cuales probablemente representen sedimentos aportados por la actividad volcánica explosiva del Arco Alisitos, tal y como fue mencionado por Peryam *et al.* (2012).

4.4.3 Procedencia

La geoquímica de elementos mayores y trazas de las rocas siliciclásticas proporciona información confiable respecto a las firmas de procedencia (Cullers, 1994, 2000; García *et al.*, 1994; Madhavaraju y Ramasamy, 2001, 2002; Al-Juboury y Al-Hadidy, 2009; Madhavaraju y Lee, 2010; Mondal *et al.*, 2012; Armstrong-Altrin *et al.*, 2013, 2014; Madhavaraju, 2015; Odoma *et al.*, 2015; Madhavaraju *et al.*, 2016a, b; Ramachandran *et*

al., 2016). Los REE, y las trazas como el Th, Sc, Co y Cr son bastante útiles para inferir la composición cortical, debido a que su distribución no se ve afectada por procesos secundarios tales como la diagénesis y metamorfismo, y también son menos afectados por la fraccionación de minerales pesados que otros elementos tales como el Zr y Hf (Bhatia y Crook, 1986; Wronkiewicz y Condie, 1987). Los elementos de alto campo de fuerza (HFSE por sus siglas en inglés; Zr, Nb, Hf, Y, Th) son preferencialmente particionados en fundidos durante la cristalización (Feng y Kerrich, 1990), y como resultado esos elementos son enriquecidos en fuentes félsicas en lugar de las fuentes máficas. Estos elementos son utilizados para revelar la composición de la roca fuente debido al comportamiento de sus inmóviles durante el intemperismo y transportación (Taylor y McLennan, 1985; Cullers, 2000).

Distintos diagramas de discriminación basados en elementos mayores, traza y tierras raras han sido propuestos por numerosos autores para interpretar las características de procedencia de rocas siliciclásticas (Roser y Korsch, 1988; Floyd *et al.*, 1989, 1990; McLennan *et al.*, 1993). Los autores Roser y Korsch (1988) propusieron un diagrama basado en los óxidos mayores para discriminar cuatro posibles procedencias, nombradas: i) máfica, ii) intermedia iii) félsica and iv) cuarzoso reciclado. La mayoría de las areniscas, limolitas y lutitas de la sección Sierra Anibacachi caen dentro de los campos cuarzoso y félsico, mientras que unas pocas muestras caen en el campo de intermedia (Figura 4.15A). Diversas areniscas y dos limolitas de la sección Rancho Búfalo se grafican en el campo de cuarzoso, sin embargo, tres muestras de areniscas y una de limolita caen en el campo de félsico. Ninguna de las rocas siliciclásticas de ambas secciones se encuentra en el campo de fuente máfica (Figura 4.15B). Los resultados muestran que los óxidos mayores estudiados de la Formación Morita son consistentes con una fuente félsica y un origen reciclado.

Los elementos traza en ferromagnesianos tales como Cr, Ni, Co y V generalmente muestran un comportamiento similar en los procesos magmáticos, sin embargo, pueden ser fraccionados durante el intemperismo (Feng y Kerrich, 1990). Las rocas siliciclásticas de ambas secciones de la Formación Morita están empobrecidas en contenidos de Cr, Ni, Co y V con respecto la composición promedio de la Corteza Continental Superior (UCC), indicando que la mayoría de los sedimentos se derivaron de rocas fuente de composición félsica. Además, los patrones REE y el tamaño de la anomalía de Eu se han utilizado de manera extensa para discriminar rocas máficas y félsicas, y para interpretar la procedencia de rocas siliciclásticas (Cullers, 1994; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004; Etemad-Saeed *et al.*, 2011, 2015; Duplay *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014, 2015; Perri *et al.*, 2014; Sappal *et al.*, 2014). Las areniscas de las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo muestran patrones con enriquecimiento en LREE (elementos tierras raras ligeras, por sus siglas en inglés) y un plano en HREE (elementos tierras raras pesadas, por sus siglas en inglés), con anomalías negativas a positivas de Eu (Eu/Eu^* ; 0.68–2.57, 0.88 ± 0.42 , $n=20$; 0.50–2.66, 0.98 ± 0.52 , $n=24$; respectivamente).

La mayoría de las areniscas de la Formación Morita presentan anomalía negativa de Eu, sin embargo, nueve muestras tienen una anomalía positiva de Eu significativa. Generalmente, las rocas ígneas félsicas tienen una marcada anomalía negativa de Eu, mientras que las rocas máficas contienen anomalías pequeñas o no-negativas de Eu (Cullers, 1994a, b). Las rocas post-Arqueanas principalmente tienen anomalía negativa de europio (Taylor y McLennan, 1985) debido a su derivación de rocas graníticas enriquecidas en potasio con anomalía negativa de europio, las cuales son provenientes de la corteza continental superior. Las anomalías positivas de europio son raras en rocas sedimentarias post-Arqueanas, principalmente debido a la naturaleza más evolucionada de la corteza (Taylor y McLennan, 1985). La notable anomalía positiva de Eu en nueve muestras de arenisca de la Formación Morita es probablemente debido al enriquecimiento local con granos de plagioclasas de fuentes volcánicas en la proximidad al área fuente (e.g., Bhatia, 1985; McLennan, 1989). Las areniscas de la Formación Morita muestran anomalías de Eu más variables que las limolitas y lutitas, sugiriendo una mayor proporción de plagioclasas en las areniscas que en las limolitas y lutitas.

La composición de la roca fuente de las rocas clásticas de la Formación Morita puede ser evaluada usando un diagrama ternario La-Th-Sc. El diagrama es una medida útil para determinar la contribución relativa de entrada félsica y máfica dentro de la cuenca sedimentaria. En este diagrama (Figura 4.16A), las areniscas y limolitas de la sección Sierra Anibacachi caen cercanas a los granitoides permo-triásicos (GPT), granitos del bloque Caborca y Esquisto Pinal, mientras que las lutitas caen entre los granitos del bloque Caborca y rocas volcánicas félsicas mesozoicas-cenozoicas (RVFMC). Por otra parte, unas pocas areniscas de la sección Rancho Búfalo caen cercanas a los granitoides permo-triásicos (GPT), granitos del bloque Caborca y el Esquisto Pinal, mientras que pocas areniscas y limolitas caen cercanas al Granito Mesteñas (Figura 4.16B). Las rocas siliciclásticas de la Formación Morita se encuentran cercanas al vértice La y alejadas del vértice Sc, sugiriendo una roca fuente de naturaleza félsica. Además, un diagrama bivariado de La/Th vs Hf también es usado para discriminar entre varias composiciones de roca fuente (Floyd y Leveridge, 1987; Gu *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2008; Guo *et al.*, 2012). En la gráfica de la Figura 4.17, se muestra que la mayoría de las rocas clásticas tanto de la sección Sierra Anibacachi como de Rancho Búfalo caen en la clasificación de fuente félsica, mientras pocas muestras se dispersan mezcladas entre los campos de fuentes félsica/intermedia y antiguos sedimentos.

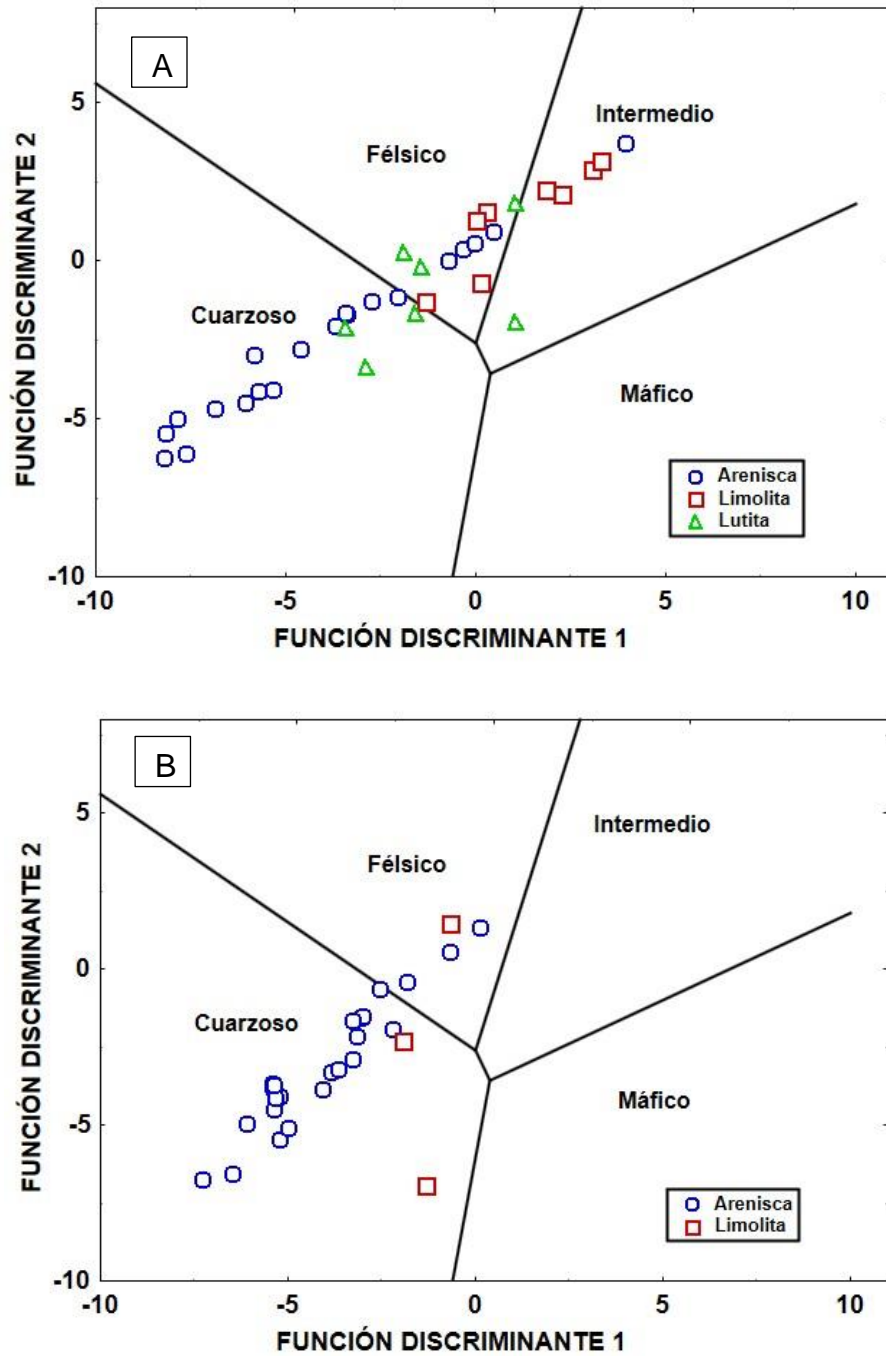


Figura 4.15 Diagrama de funciones discriminantes de Roser y Korsch (1988). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

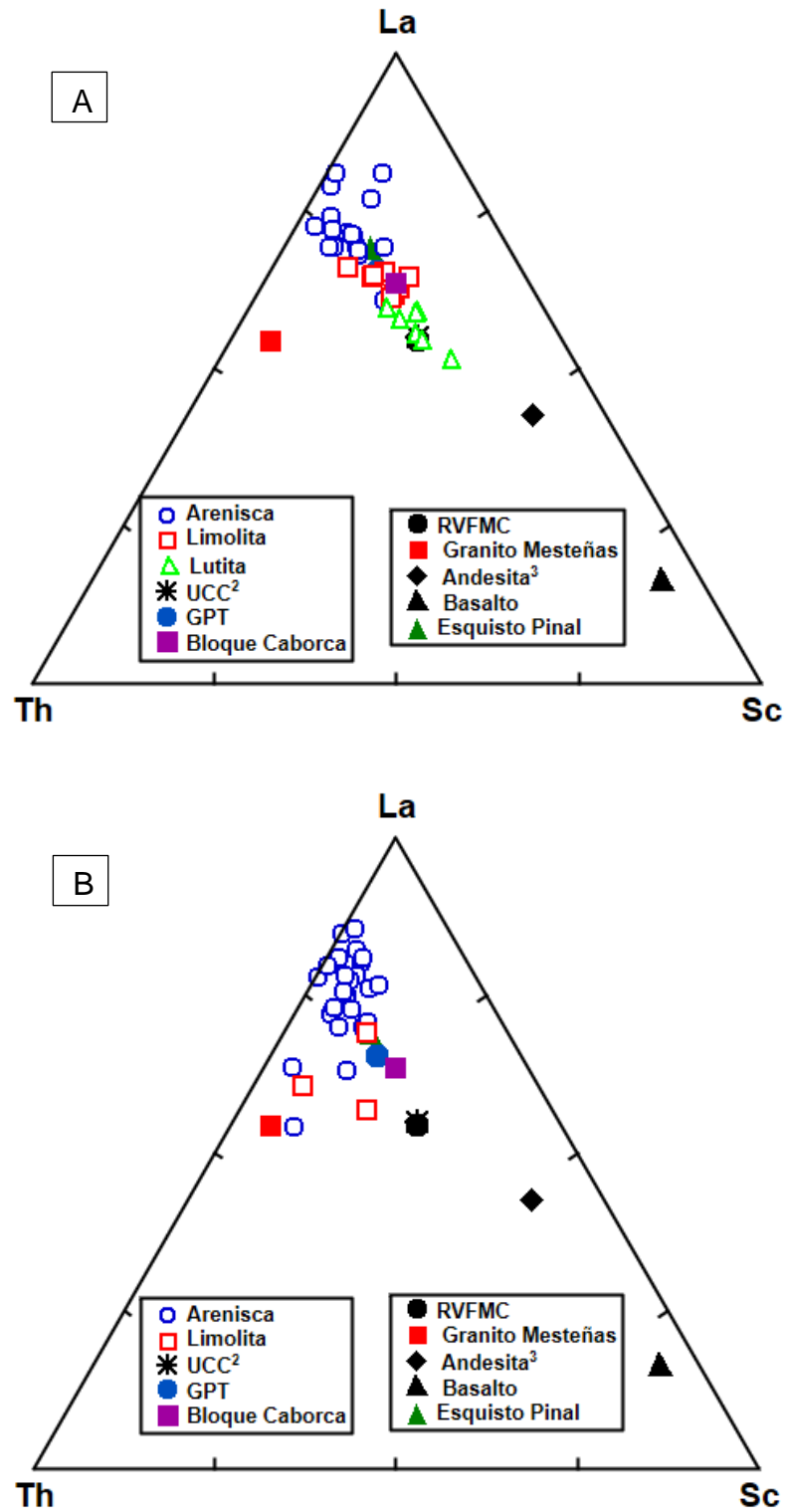


Figura 4.16 Diagrama ternario La-Th-Sc de Cullers y Podkovyrov (2002). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo. De donde, La: lantano, Th: torio, Sc: escandio, GPT: granitoide permo-triásico, UCC: corteza continental superior, RVFMC: roca volcánica félsica mesozoica-cenozoica.

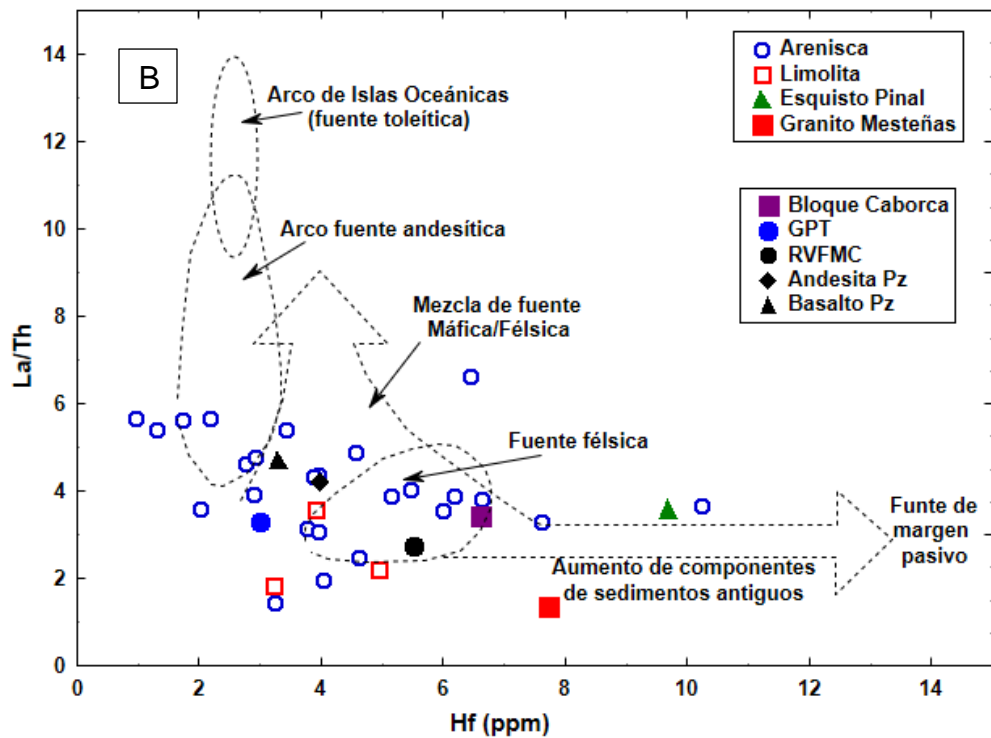
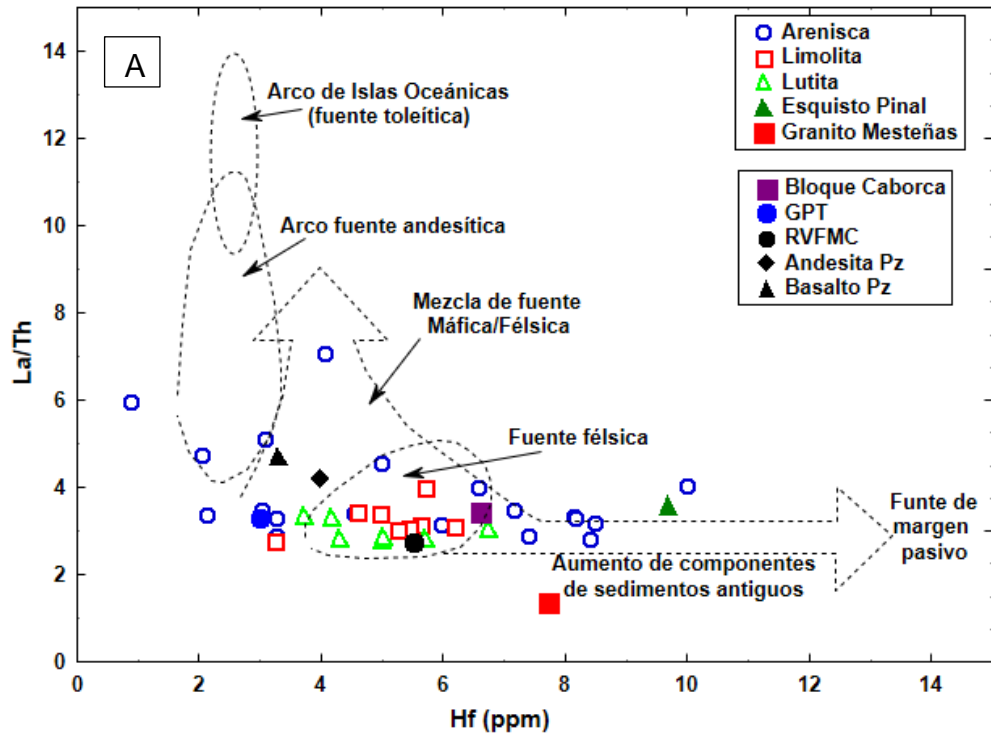


Figura 4.17 Diagrama bivariable de La/Th vs Hf (después de Floyd y Leveridge, 1987). **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo. Donde, GPT: granitoide permo-triásico, RVFMC: roca volcánica félsica mesozoica-cenozoica.

Los elementos Sc y Co presentan un mayor enriquecimiento en rocas básicas que en las rocas de carácter ácido, mientras que los elementos La y Th son más abundantes en las rocas félsicas que en las máficas, por lo tanto, las relaciones La/Sc, Th/Sc y La/Co son útiles como herramienta para inferir la composición de la roca fuente (Taylor y McLennan, 1985; McLennan *et al.*, 1993). Por lo tanto, el enriquecimiento relativo de elementos incompatibles sobre los compatibles indica una naturaleza félsica de las rocas fuente (McLennan *et al.*, 1993; Cullers y Berendsen, 1998; Cullers, 2000; Cullers y Podkovyrov, 2000; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004; Madhavaraju *et al.*, 2010, 2016b). En el diagrama Co/Th vs La/Sc, la mayoría de las areniscas, limolitas y lutitas de la sección Sierra Anibacachi caen cercanas a granitos del bloque Caborca, Esquisto Pinal y rocas volcánicas félsicas mesozoicas-cenozoicas (Figura 4.18A). Igualmente, las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo también caen de cerca a muy cercanas a granitos del bloque Caborca, Esquisto Pinal y rocas volcánicas félsicas del Mesozoico-Cenozoico, y también muestran gran dispersión en este diagrama (Figura 4.18B). Los rangos de las relaciones La/Sc, Th/Sc, Th/Co, Cr/Th, (La/Lu)_{cn} y Eu/Eu* de las areniscas, limolitas y lutitas de las Formación Morita son comparadas con los valores promedio de la Corteza Continental Superior (UCC), Lutitas Australianas Post-Arqueanas (PAAS, por sus siglas en inglés), fracciones finas de rocas félsicas y máficas (Tabla 4.7), sugiriendo que esas relaciones están dentro del rango de rocas félsicas. Además, una menor proporción de sedimentos también recibieron aporte de rocas intermedias.

Tabla 4.7 Rango relaciones de elementos traza y tierras raras para las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo (superior e inferior, respectivamente).

	Formación Morita			Roca Félsica	Roca Máfica	UCC	PAAS
	Arenisca	Limolita	Lutita				
La/Sc	3.46-85.45	3.35-6.72	1.64-3.2	2.5-16.3	0.43-0.86	2.21	2.4
La/Co	2.4-10.15	3.07-8.24	2.49-8.21	1.80-13.8	0.14-0.38	1.76	1.66
Th/Sc	1.22-18.81	0.86-2.4	0.54-1.15	0.84-20.5	0.05-0.22	0.79	0.9
Th/Co	.84-2.44	0.77-2.94	0.76-2.69	0.67-19.4	0.04-1.4	0.63	0.63
Cr/Th	1.54-6.09	1.39-4.01	2.49-4.03	4.0-15	25-500	7.76	7.53
(La/Lu) _{cn}	4.57-10.98	4.62-6	3.89-6.30	3.0-27	1.10-7.0	9.73	-
Eu/Eu*	.64-2.57	0.52-0.73	0.50-0.64	0.40-0.94	0.71-0.95	0.63	0.63

	Formación Morita		Roca Félsica	Roca Máfica	UCC	PAAS
	Arenisca	Limolita				
La/Sc	5.61-233.23	3.31-9.43	2.5-16.3	0.43-0.86	2.21	2.4
La/Co	1.83-29.42	1.37-16.41	1.80-13.8	0.14-0.38	1.76	1.66
Th/Sc	1.79-57.51	1.49-5.06	0.84-20.5	0.05-0.22	0.79	0.9
Th/Co	0.24-8.8	1.86-5.66	0.67-19.4	0.04-1.4	0.63	0.63
Cr/Th	0.76-4.4	0.76-1.09	4.0-15	25-500	7.76	7.53
(La/Lu) _{cn}	4.44-16.84	6.25-8.04	3.0-27	1.10-7.0	9.73	-
Eu/Eu*	0.5-2.65	0.58-0.	0.40-0.94	0.71-0.95	0.63	0.63

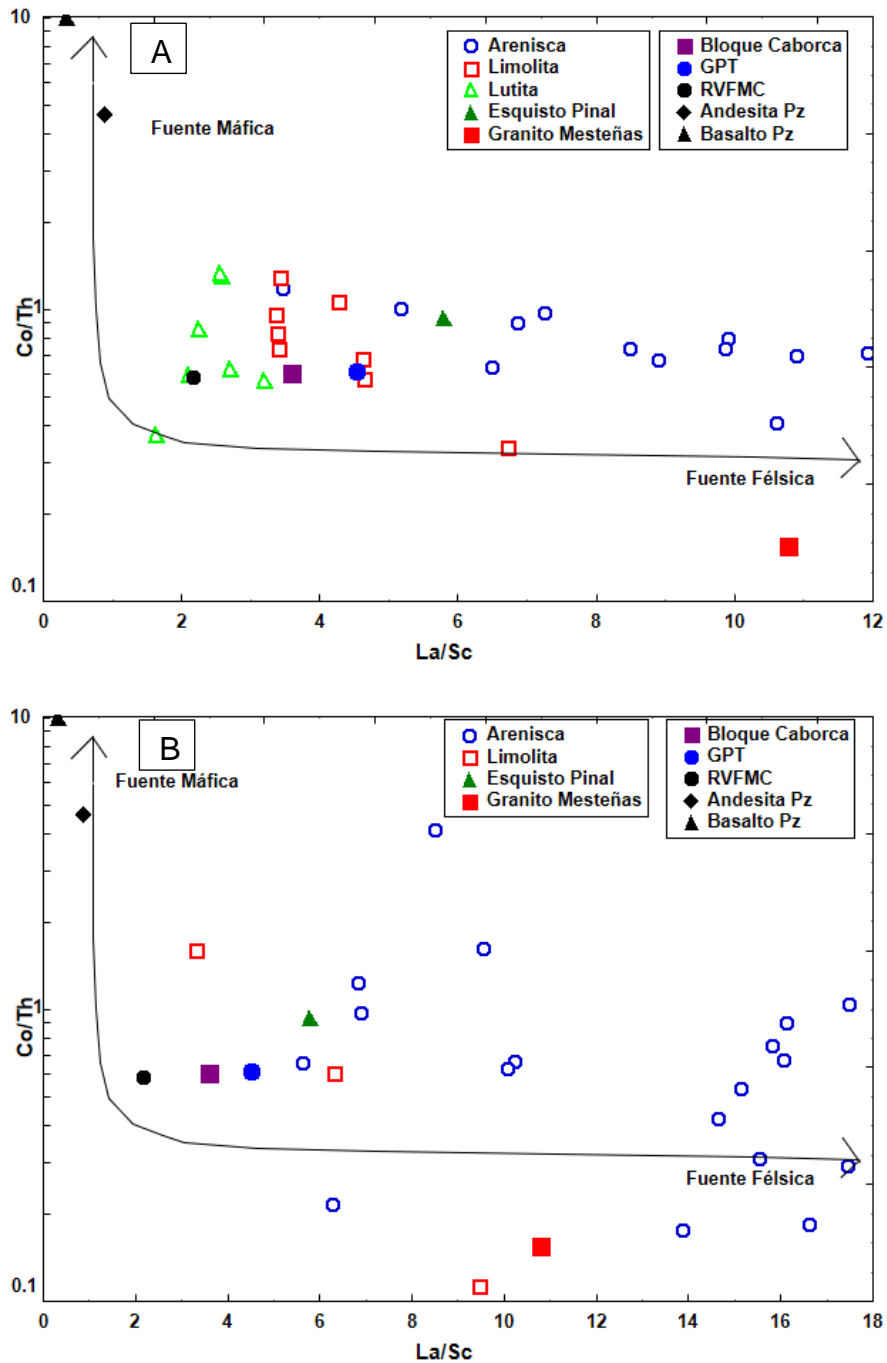


Figura 4.18 Diagrama bivariado de Co/Th vs La/Sc. **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo. Donde, GPT: granitoide permo-triásico, RVFMC: roca vlcánica félsica mesozoica-cenozoica.

Con el fin de restringir las rocas fuente, en este estudio, hemos comparado datos geoquímicos publicados de 10 granitos proterozoicos del bloque Caborca (Iriondo *et al.*, 2004), 21 granitoides permo-triásicos expuestos en las áreas de Sierra Pinta, Sierra Los Tanques y Sierra San Francisco (Arvizu *et al.*, 2009; Arvizu, 2012), dos del Esquisto Pinal (presente estudio) y 4 del Granito Mesteñas (presente estudio) son comparados con los

patrones de REE de areniscas, limolitas y lutitas, (Figura 4.19) para identificar las probables rocas fuente. Los patrones de promedio de REE de las areniscas de la sección Sierra Anibacachi son comparables con datos REE de los granitoides permo-triásico (Arvizu *et al.*, 2009; Arvizu, 2012), mientras los valores promedio de las limolitas y lutitas son comparables con los patrones REE de los granitos del bloque Caborca (Iriondo *et al.*, 2004), Esquisto Pinal (presente estudio) y rocas volcánicas félsicas mesozoicas-cenozoicas (Condie, 1993) (Figura 4.19A). De igual forma, las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo son comparables al patrón promedio de REE de los granitoides permo-triásicos (Arvizu *et al.*, 2009; Arvizu, 2012), granitos del bloque Caborca (Iriondo *et al.*, 2004), rocas volcánicas félsicas mesozoicas-cenozoicas (Condie, 1993) y el Esquisto Pinal (presente estudio) (Figura 4.19B). Lo anterior sugiere que los sedimentos fueron recibidos de varias fuentes durante la depositación de la Formación Morita. La contribución relativa de varias fuentes para la Formación Morita (secciones Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo) es evaluada utilizando cálculos de mezcla.

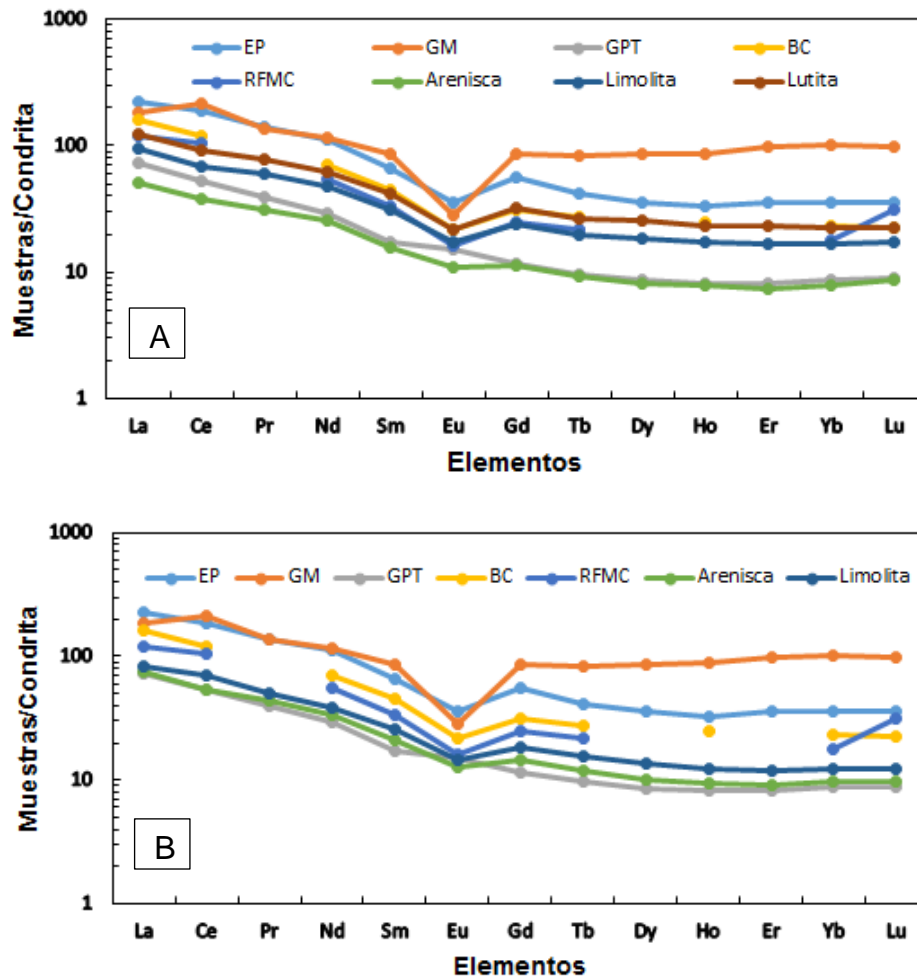


Figura 4.19 Comparación de patrones de REE normalizados con condrita, EP: Esquisto Pinal, GM: Granito Mesteñas, BC: Bloque Caborca, RFMC: Roca volcánica félsica del Mesozoico-Cenozoico. **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

El cálculo de mezcla es considerado como una herramienta confiable para identificar la procedencia (Kasanzu *et al.*, 2008; Absar *et al.*, 2009; Hegde y Chavadi, 2009; Hara *et al.*, 2012; Raza *et al.*, 2012; Madhavaraju, 2015; Armstrong-Altrin *et al.*, 2015). Los datos de REE publicados de los granitoides permo-triásicos (GPT) (Arvizu *et al.*, 2009; Arvizu, 2012), granitos del bloque Caborca (GBC) (Iriando *et al.*, 2004), rocas volcánicas félsicas mesozoicas-cenozoicas (RVFMC) (Condie, 1993), Esquisto Pinal (EP) (presente estudio) y Granito Mesteñas (GM) (presente estudio) fueron tomados como miembros finales para el modelado geoquímico. En el presente estudio, la contribución relativa de las diversas fuentes de las secciones trabajadas fue evaluada usando la ecuación $Y1A + Y2B + Y3C + Y4D + Y5E = Y$ (Hegde y Chavadi, 2009), donde Y1, Y2, Y3, Y4 y Y5 representan las concentraciones de REE en los miembros finales A, B, C, D y E, es decir, GPT, GBC, RVFMC, EP y GM, respectivamente. Los datos de REE de las rocas fuentes y el cálculo de mezclas se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 REE de las rocas fuentes y el cálculo de mezclas de las secciones Sierra Anibacachi (arriba) y sección Rancho Búfalo (abajo).

Elementos/ Roca	Valores Promedios						Mezcla Final de Aporte										Mezcla Resultante	
	Arenisca		Limolita		Lutita		Granito PT		Bloque Caborca		Roca Félsica MC		Esquisto Pinal		Granito Mesteñas		40:10:10:20:20	
	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°
La	11.91	50.27	22.67	95.67	28.86	121.76	17.45	73.63	38.05	160.55	28.00	118.14	53.57	226.02	43.48	183.47	32.99	139.22
Ce	23.35	38.08	41.55	67.77	57.32	93.51	32.82	53.54	74.26	121.14	65.00	106.04	114.71	187.13	131.78	214.98	76.35	124.56
Pr	2.91	31.30	5.51	59.23	7.21	77.53	3.66	39.35					12.90	138.69	12.85	138.13	-	-
Nd	11.69	25.59	22.13	48.43	28.62	62.63	13.4	29.32	32.45	71.01	25.00	54.70	51.08	111.77	52.39	114.63	31.80	69.58
Sm	2.32	15.70	4.66	31.49	6.16	41.60	2.55	17.23	6.62	44.73	5.00	33.78	9.68	65.40	12.70	85.80	6.66	44.98
Eu	0.61	10.92	0.98	17.42	1.22	21.72	0.85	15.10	1.21	21.49	0.90	15.99	2.01	35.62	1.59	28.21	1.27	22.55
Gd	2.27	11.39	4.72	23.71	6.41	32.20	2.29	11.51	6.19	31.11	4.87	24.47	11.06	55.58	17.01	85.47	7.64	38.37
Tb	0.34	9.29	0.72	19.91	0.96	26.66	0.35	9.70	0.98	27.15	0.78	21.61	1.50	41.57	3.02	83.66	1.22	33.80
Dy	2.00	8.14	4.56	18.53	6.22	25.28	2.12	8.62					8.87	36.08	21.35	86.77	-	-
Ho	0.42	7.76	0.95	17.34	1.28	23.49	0.45	8.24	1.37	25.09			1.80	32.99	4.77	87.44	-	-
Er	1.19	7.45	2.68	16.72	3.76	23.47	1.3	8.13					5.66	35.34	15.64	97.78	-	-
Yb	1.28	7.97	2.69	16.71	3.65	22.65	1.42	8.82	3.74	23.23	2.90	18.01	5.79	35.94	16.55	102.81	5.70	35.40
Lu	0.22	8.74	0.43	17.37	0.55	22.53	0.22	8.94	0.56	22.76	0.78	31.71	0.87	35.37	2.44	99.08	0.88	35.91
(La/Sm) _N		3.20		3.04		2.93		4.27		3.59		3.50		3.46		2.14		3.09
(La/Yb) _N		6.31		5.73		5.37		8.35		6.91		6.56		6.29		1.78		3.93
(Gd/Yb) _N		1.43		1.42		1.42		1.30		1.34		1.36		1.55		0.83		1.08
Eu/Eu*		0.82		0.64		0.59		1.07		0.58		0.56		0.59		0.33		0.54

Elementos/ Roca	Valores Promedios						Mezcla Final de Aporte										Mezcla Resultante	
	Arenisca		Limolita		Granito PT		Bloque Caborca		Roca Félsica MC		Esquisto Pinal		Granito Mesteñas		15:40:35:05:05			
	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°	ppm	N°		
La	16.35	73.87	19.95	84.18	17.45	73.63	38.05	160.55	28.00	118.14	53.57	226.02	43.48	183.47	32.49	137.09		
Ce	31.05	54.54	42.94	70.05	32.82	53.54	74.26	121.14	65.00	106.04	114.71	187.13	131.78	214.98	69.70	113.71		
Pr	3.75	43.61	4.73	50.90	3.66	39.35							12.90	138.69	12.85	138.13		
Nd	14.11	33.25	17.56	38.43	13.4	29.32	32.45	71.01	25.00	54.70	51.08	111.77	52.39	114.63	28.91	63.27		
Sm	2.88	21.08	3.78	25.57	2.55	17.23	6.62	44.73	5.00	33.78	9.68	65.40	12.70	85.80	5.90	39.86		
Eu	0.81	12.82	0.81	14.32	0.85	15.10	1.21	21.49	0.90	15.99	2.01	35.62	1.59	28.21	1.11	19.65		
Gd	2.72	14.78	3.70	18.58	2.29	11.51	6.19	31.11	4.87	24.47	11.06	55.58	17.01	85.47	5.93	29.79		
Tb	0.40	11.90	0.56	15.62	0.35	9.70	0.98	27.15	0.78	21.61	1.50	41.57	3.02	83.66	0.94	26.14		
Dy	2.31	10.12	3.33	13.54	2.12	8.62							8.87	36.08	21.35	86.77		
Ho	0.48	9.33	0.67	12.26	0.45	8.24	1.37	25.09					1.80	32.99	4.77	87.44		
Er	1.35	9.04	1.91	11.93	1.3	8.13							5.66	35.34	15.64	97.78		
Yb	1.45	9.64	2.00	12.43	1.42	8.82	3.74	23.23	2.90	18.01	5.79	35.94	16.55	102.81	3.84	23.86		
Lu	0.23	9.82	0.30	12.15	0.22	8.94	0.56	22.76	0.78	31.71	0.87	35.37	2.44	99.08	0.70	28.27		
(La/Sm) _N		3.50		3.29		4.27		3.59		3.50		3.46		2.14		3.44		
(La/Yb) _N		7.66		6.77		8.35		6.91		6.56		6.29		1.78		5.75		
(Gd/Yb) _N		1.53		1.49		1.30		1.34		1.36		1.55		0.83		1.25		
Eu/Eu*		0.73		0.66		1.07		0.58		0.56		0.59		0.33		0.57		

El modelado de patrones de REE de las rocas fuente para la sección Sierra Anibacachi pueden ser representados por una mezcla de 40% GPT, 10% GBC, 10% RVFMC, 20% EP y 20% GM (Figura 4.20A). Sin embargo, la composición promedio de las rocas siliciclásticas de Rancho Búfalo está representadas por una mezcla de 15% GPT, 40%

GBC, 35% RVFMC, 5% EP y 5% GM (Figura 4.20B). Los resultados del cálculo de mezcla muestran que el granito permo-triásico, el Esquisto Pinal y el Granito Mesteñas fueron las principales rocas fuente de la sección Sierra Anibacachi, mientras que el granito del bloque Caborca y las rocas volcánicas félsicas mesozoicas-cenozoicas contribuyeron mucho para la sección Rancho Búfalo de la Formación Morita. El contenido total de REE y relaciones elementales tales como $(La/Sm)_n$, $(La/Yb)_n$, $(Gd/Yb)_n$ y Eu/Eu^* se comparan para lograr mejores valores del modelo. El promedio de las relaciones elementales $(La/Sm)_n$, $(Gd/Yb)_n$ y Eu/Eu^* de las areniscas, limolitas y lutitas de la sección Sierra Anibacachi son más o menos similares a los valores del modelo, mientras el promedio de la relación $(La/Yb)_n$ es más alto que el valor modelado. Además, el promedio de relaciones elementales tales como $(La/Sm)_n$, $(La/Yb)_n$, $(Gd/Yb)_n$ y Eu/Eu^* de las areniscas y limolitas de la sección Rancho Búfalo están en excelente acuerdo con los valores del modelo. Como un conjunto, los resultados del cálculo de mezcla, los patrones de REE y los varios diagramas bivariados y ternarios apuntan a una derivación de sedimentos de una fuente dominada por rocas félsicas.

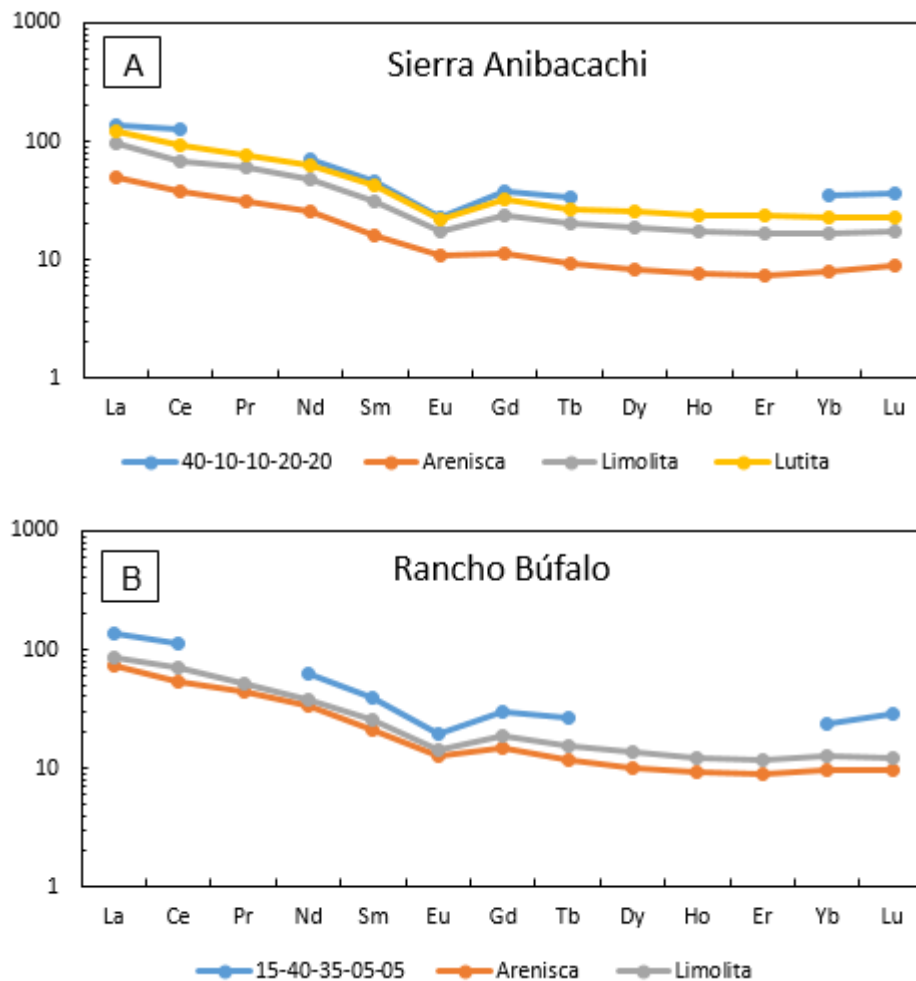


Figura 4.20 Comparación de patrones de REE normalizados con condrita, resultado de cálculo mezcla vs muestras estudiadas. **A)** sección Sierra Anibacachi, **B)** sección Rancho Búfalo.

CAPITULO 5. GEOCRONOLOGÍA

La geocronología de zircones detríticos ha evolucionado rápidamente, de ser una técnica con aplicaciones aparentemente limitadas, a ser un método casi indispensable en la investigación de unidades sedimentarias y su región de origen (Gehrels, 2012). Este gran paso, es resultado principalmente de la evolución de las técnicas que ha permitido a los investigadores determinar eficientemente edades por U-Pb en cristales individuales de zircón (Davis *et al.*, 2003; Kosler y Sylvester, 2003).

Los estudios de procedencia por medio de zircones detríticos es una de las principales aplicaciones para este tipo de análisis, donde las edades de los zircones son comparadas con edades de zonas fuente potenciales para determinar la fuente final de los sedimentos (Fedo *et al.*, 2003; Anderson, 2005). Este principio se basa en que los zircones detríticos en cuencas sedimentarias son derivados del intemperismo de las rocas madres, y posteriormente transportados por sistemas fluviales hasta terminar siendo depositados en la cuenca. Por tal motivo, la edad obtenida del zircón detrítico se puede utilizar para evaluar la distribución de las rocas madre (procedencia), y en aquellos que sean de origen ígneo, pueden determinarse eventos magmáticos mayores en las regiones fuentes (Condie *et al.*, 2009).

La determinación de edades de zircón, combinados con el conocimiento de la estratigrafía, sedimentología y bioestratigrafía, proporciona información importante que contribuye al entendimiento de diferentes problemas tectónicos, incluyendo evolución de las cuencas, procedencia y paleogeografía (González-León, 2009). El desarrollo de nuevas técnicas geocronológicas para determinar procedencia, correlación y máxima edad de depositación proporcionan al geólogo una poderosa nueva herramienta para el estudio de rocas sedimentarias, sus fuentes, y la cuenca en la cual se acumularon (Gehrels, 2012).

Adicionalmente, los elementos traza en conjunto con el análisis de U-Pb pueden aportar información útil sobre la composición del magma en donde los zircones cristalizaron. Diversos investigadores han reconocido que hay variación en la relación Th/U en cristales de zircón, y han utilizado esto como un discriminatorio de primer orden entre los de origen ígneo y metamórfico (e.g., Ahrens *et al.*, 1967; Williams *et al.*, 1996).

Estudios de este tipo se han aplicado de manera exitosa en distintas regiones, entre las que se incluyen los Alpes (e.g., Spiegel *et al.*, 2000), los Apalaches (e.g., Park *et al.*, 2010), meseta del Colorado (e.g., Dickinson y Gehrels, 2003), los Himalayas (e.g., Amidon *et al.*, 2005; Najman, 2006), el Tian Shan (e.g., Li y Peng, 2010), y Qinling-Dabie (e.g., Wang *et al.*, 2009). En años recientes, el gran progreso de este campo de estudio ha contribuido a varios avances significativos, entre ellos, entender la historia de la evolución de la corteza así como también establecer correlaciones intercontinentales

dentro de arreglos súper continentales (Wysoczanski *et al.*, 1997; Carter y Moss, 1999; Veevers *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2010; Díaz Fernández *et al.*, 2010).

5.1 Metodología

5.1.1 Metodología para datación U-Pb empleada en Arizona LaserChron Center

Para el presente trabajo se fechó una muestra de arenisca de la sección Rancho Bufalo, esto mediante un espectrómetro de masas por ablación multicolector de láser con plasma inductivamente acoplado (LA-MC-ICP-MS) en el Arizona LaserChron Center (Gehrels *et al.*, 2006, 2008). Los análisis involucraron ablación del zircón con láser New Wave UP193HE Excimer (operando con una longitud de onda de 193 nm) usando un diámetro puntual de 30 μm . El material extirpado por ablación es llevado por helio hacia la fuente de plasma de un Nu Plasma de alta resolución MCICP-MS, el cual está equipado con un tubo de vuelo lo suficientemente ancho para al mismo tiempo medir isótopos de U, Th y Pb. Todas las mediciones se realizaron en modo estático, usando un detector de Faraday con resistores óhmicos 10^{-11} para ^{238}U , ^{232}Th , ^{208}Pb , ^{206}Pb y un discreto contador dínodo de iones para ^{204}Pb y ^{202}Hg . La eficiencia del ion son de ~ 0.8 mv/ppm. Cada análisis consistió en 15 s de integración de los picos con el láser apagado (para el valor de fondo), 151 de integración con el láser disparando, y un retardo de 30 s para depurar la muestra previa y preparar para el siguiente análisis. El agujero de ablación es de ~ 15 μm de profundo. Para cada análisis, los errores al determinar $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ resultaron en un error medido de $\sim 1\%$ - 2% (un nivel 2σ) en la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Los errores en medición de $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{205}\text{Pb}$ también resultaron en incertidumbre de $\sim 1\%$ - 2% (un nivel 2σ) en edades mayores a 1.0 Ga, pero son substancialmente mayores para granos más jóvenes debido a una baja intensidad de la señal ^{207}Pb . Para la mayoría de análisis, el cruce de precisiones de edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ocurre en ~ 1.0 Ga. La interferencia de ^{204}Hg con ^{204}Pb fue contabilizado durante la medición de ^{202}Hg durante la ablación de láser y substracción de ^{204}Hg conforme al $^{202}\text{Hg}/^{204}\text{Hg}$ natural de 4.35. Esta corrección de Hg no es significativa para la mayoría de análisis debido a que los valores de fondo de Hg fueron bajos (generalmente ~ 150 cps a una masa de 204). Se logró la corrección Pb utilizando el método de ^{204}Pb corregida de Hg y asumiendo una composición inicial de Pb de Stacey y Kramers (1975). Incertidumbres de 1.5 para $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y 0.3 para $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ fueron aplicadas a estos valores composicionales basados en la variación isotópica de Pb en rocas de corteza modernas. La fraccionación interelemental de Pb/U es generalmente $\sim 5\%$, mientras la fraccionación aparente de isótopos de Pb es generalmente $< 0.2\%$. El análisis de un cristal de zircón (generalmente cada quinta medida) con edad conocida de 563.5 ± 3.2 Ma (2σ error) es usado para corregir esta fraccionación. La incertidumbre resultante de la corrección de la calibración es generalmente 1% - 2% (2σ error) para edades en $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Las

concentraciones de U y Th fueron calibradas relativas al zircón Sri Lanka, el cual contiene ~518 ppm de U y 68 ppm de Th.

5.1.2 Metodología para datación U-Pb en el Centro de Geociencias, UNAM.

Las etapas iniciales de la preparación de las muestras estudiadas fueron completadas en las facilidades de la ERNO, Instituto de Geología, UNAM. Estos pasos incluyeron quebrado de las muestras con una trituradora de quijada donde se redujeron en pedazos de ~1-2 cm. Después con una amoladora de disco las muestras se redujeron a tamaños de arenas de grano fino a medio, seguido por una separación con una mesa Wilfley, separación de minerales magnéticos en un aparato Frantz y separación por líquidos de los minerales pesados. Se procesaron las muestras de tal modo que los zircones fueran retenidos en la última fracción mineral pesada. Una parte de los granos (generalmente 1000-2000 granos) pesados fue incorporada en una montura epóxica, incluyendo los granos de zircón Sri Lanka estándar. Las monturas fueron devastadas hasta una profundidad de ~20 μm , pulidas, fotografiadas y limpiadas antes del análisis isotópico.

Para el presente trabajo se fecharon 4 muestras de arenisca colectadas de la Formación Morita; dos de estas en la sección Sierra Anibacachi y dos más en la sección Rancho Bufalo. El fechamiento se realizó con un espectrómetro de masas por ablación multicolector de láser con plasma inductivamente acoplado (LA-MC-ICP-MS) en el Laboratorio de Estudios Isotópicos, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, conforme a los procedimientos en Solari *et al.* (2010). La referencia del zircón Plešovice (ca. 337 Ma; Sláma *et al.*, 2008) fue utilizado en combinación con el vidrio estándar NIST 610 para corregir la desviación instrumental y la fraccionación “down-hole” y para recalcular las concentraciones elementales, usando el software “U-Pb age” (Solari y Tanner, 2011). Edades, relaciones y errores de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ son calculados según Petrus y Kamber (2012). La precisión en las relaciones medidas de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, y $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ típicamente fue ~0.8%, 0.7% y 0.9% con desviación estándar relativa 1σ , respectivamente. Análisis replicados del zircón Plešovice indican una reproductibilidad externa de 0.75%, 0.6% y 1.6% en las relaciones medidas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$, respectivamente. Estos errores son incluidos cuadráticamente en las incertidumbres citadas para análisis individuales de los zircones analizados. Debido a que su señal es inundada por el ^{204}Hg contenido en los gases portadores, en este estudio no se analizó ^{204}Pb . Se realizó la común corrección Pb empleando el método algebraico de Andersen (2002). Entonces se aplicó un filtro para asegurar la calidad de los análisis seleccionados, consistiendo en evaluación de la concordancia. Para granos con edades menores a 1000 Ma, el análisis se consideró concordante si las edades de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ diferían por <10%. La concordia, distribución de densidad de probabilidad y gráficas de histogramas, así como los cálculos del error de la edad, se llevaron a cabo usando Isoplot v. 3.70 (Ludwig, 2008). El algoritmo Tuff-Zirc (Ludwig y Mundil, 2002) fue utilizado para calcular el promedio de edades en $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y sus

errores, así como para filtrar valores extremos. Las edades por $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ son preferidas para granos menores de 1000 Ma debido a la incertidumbre envuelta en la determinación del isótopo ^{207}Pb en cristales jóvenes.

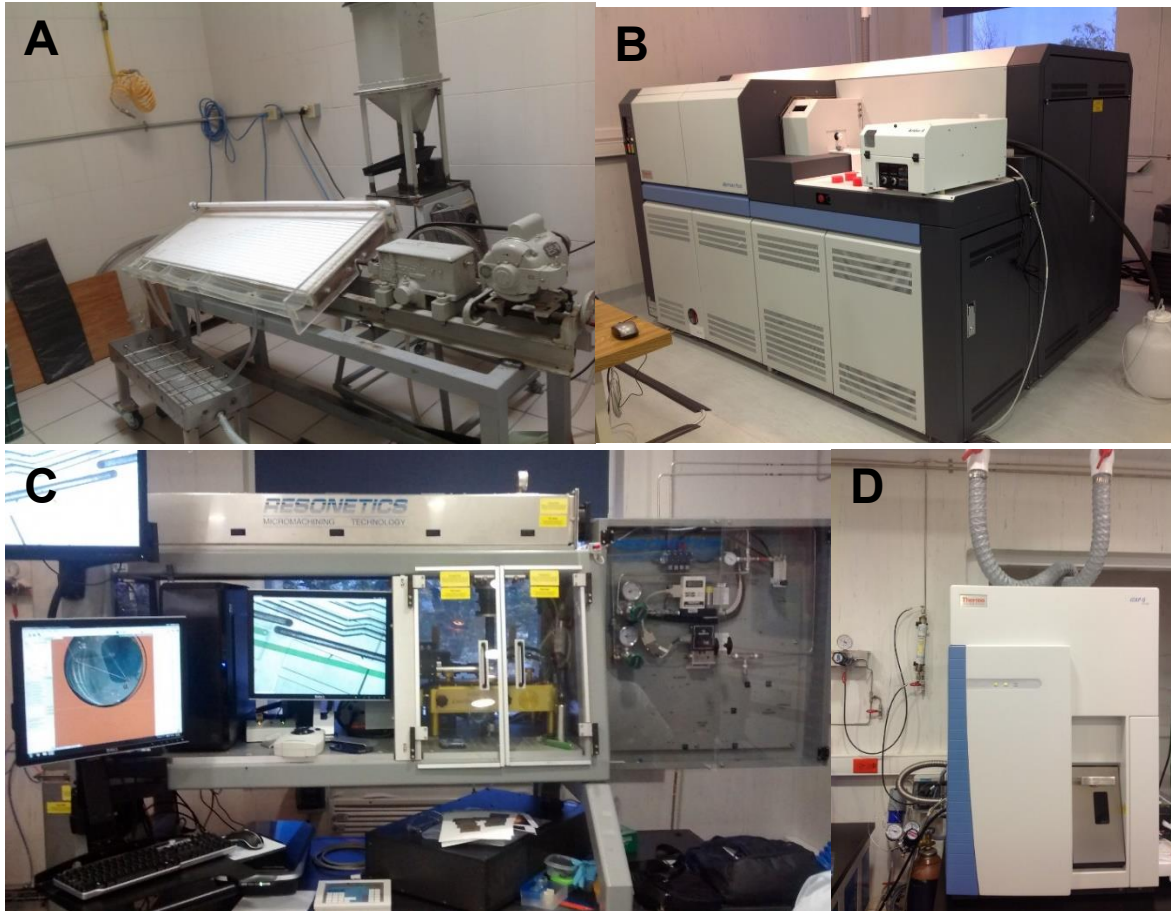


Figura 5.1 Laboratorio de geocronología del Centro de Geociencias, UNAM, campus Juriquilla; **A)** Mesa Wilfley de concentración por sacudimiento, **B)** Espectrómetro de Masas Neptune Plus, **C)** Sistema de Ablación Láser, **D)** Thermo Scientific ICP.

5.2 Resultados

En total se analizaron cinco muestras de areniscas de la Formación Morita (dos muestras para la sección Sierra Anibacachi y tres de la sección Rancho Bufalo, Figura 2.11) para obtener edades de sus zircones detríticos por el método de U/Pb. En los Anexos 1-5 se presentan las tablas con los resultados obtenidos.

5.2.1 Sección Sierra Anibacachi

La arenisca nombrada SAMF 5 fue tomada de la base de esta sección (Figura 2.11 de la columna). De esta muestra se analizaron 100 granos de zircones de manera aleatoria. De estos 98 proporcionaron edades concordantes. La relación Th/U en los zircones analizados se encuentra en el rango de .19 a 2.32; además el rango de edades de estos cristales de zircón es muy amplio, donde el cristal más joven presenta una edad de 171.3 Ma (Jurásico Medio) mientras que la edad del zircón más antiguo es de 1779 Ma. Los zircones Fanerozoicos ocurren en cuatro poblaciones primarias, Silúrico, Pérmico, Triásico y Jurásico, también se tiene un cristal del Ordovícico y uno del Devónico. Por otra parte, los zircones Proterozoicos se agrupan en tres poblaciones primarias, Paleoproterozoico, Mesoproterozoico y Neoproterozoico. Las principales fuentes de zircones son del Mesoproterozoico y del Triásico (cuarenta y tres, y veintiocho, respectivamente). Anexo 1 y Figura 5.2.

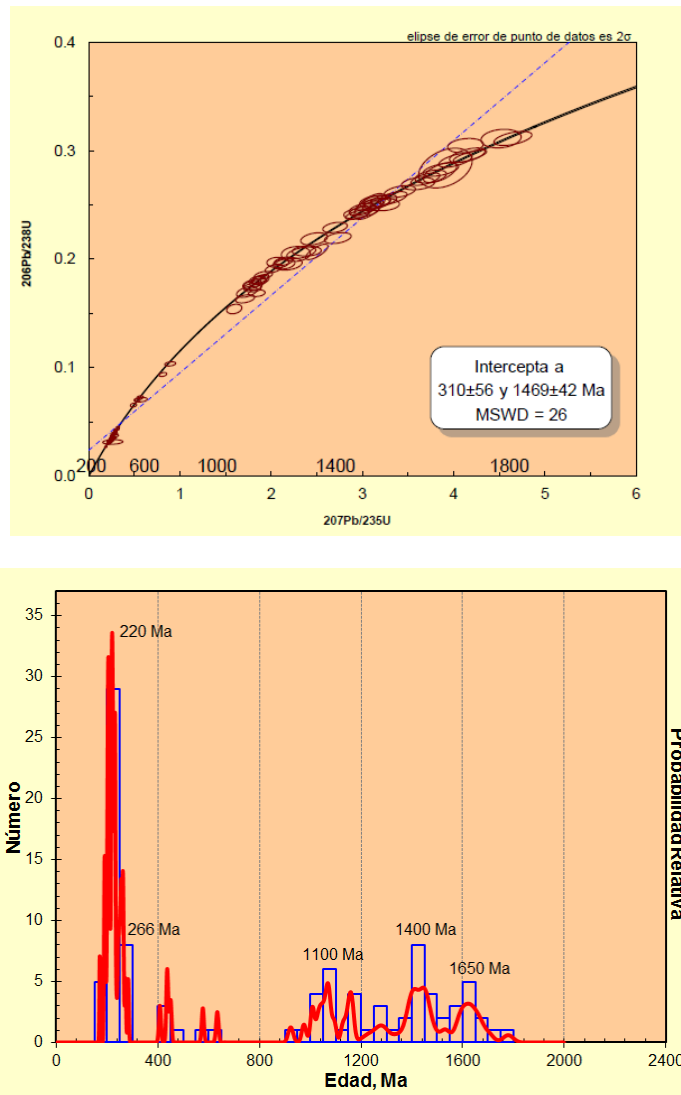


Figura 5.2 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 5.

Una segunda muestra de arenisca que fue colectada de la sección de la Formación Morita en la Sierra Anibacachi, para fechamiento (clave SAMF 24), fue tomada casi de la cima de dicha sección (Figura 2.11). De esta muestra se fecharon 100 granos de manera aleatoria, de los cuales 99 proporcionaron edades concordantes. La relación Th/U en los zircons analizados tiene un rango que va desde los 0.05 hasta 1.38. En este grupo de zircons se encuentra presente el grano más antiguo de ambas secciones con una edad de 2785 Ma (Neoarqueano). El rango de edades de este grupo de zircons es muy amplio, la edad más joven registrada es de 160.9 Ma hasta la edad más antigua, la cual como se mencionó anteriormente es de 2785 Ma (Neoarqueano). Se encontraron 4 poblaciones principales, de las cuales la más abundante pertenece al Mesoproterozoico, seguida del Triásico, Jurásico y Paleoproterozoico (38%, 25%, 11% y 9%, respectivamente). También se encontraron zircons con edades del Pérmico, Carbonífero, Devónico, Silúrico, Neoproterozoico y Neoarquena, sin embargo, las poblaciones de cada uno de esos grupos es menor al 5% (Figura 5.3).

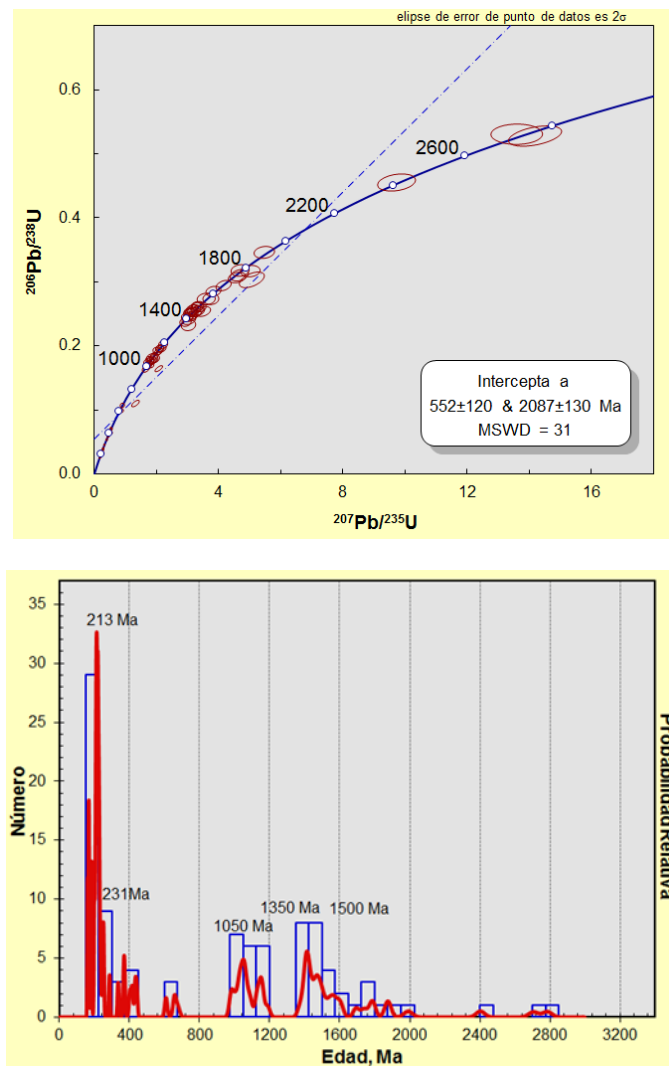


Figura 5.3 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras SAMF 24.

5.2.2 Sección Rancho Búfalo

De la parte inferior de esta sección (Figura 2.11) fue recolectada una muestra de arenisca, cuya clave asignada es RBMF 2. Alrededor de cien cristales de zircones fueron fechados de manera aleatoria y noventa y cuatro presentaron edades concordantes. Todos los granos presentan un valor inferior a 2 en la relación Th/U, cuyo rango de valores en los cristales de esta muestra va del orden de .27 a 1.91. Por otro lado, el rango de edades obtenidas es amplio, siendo la edad del cristal más joven 160.1 Ma (Oxfordiano), mientras que la edad más antigua es de 1711 Ma (Estatérico). Se identificaron dos poblaciones primarias de zircones Fanerozoicos, las cuales corresponden al Triásico y al Jurásico, mientras que se tuvieron granos individuales para el Ordovícico, Devónico y Carbonífero; además tres poblaciones primarias de zircones Proterozoicos fueron agrupadas, las cuales corresponden al Paleoproterozoico, Mesoproterozoico y Neoproterozoico. Cabe señalar que la mayor población de granos corresponde al Triásico (cuarenta y cuatro).

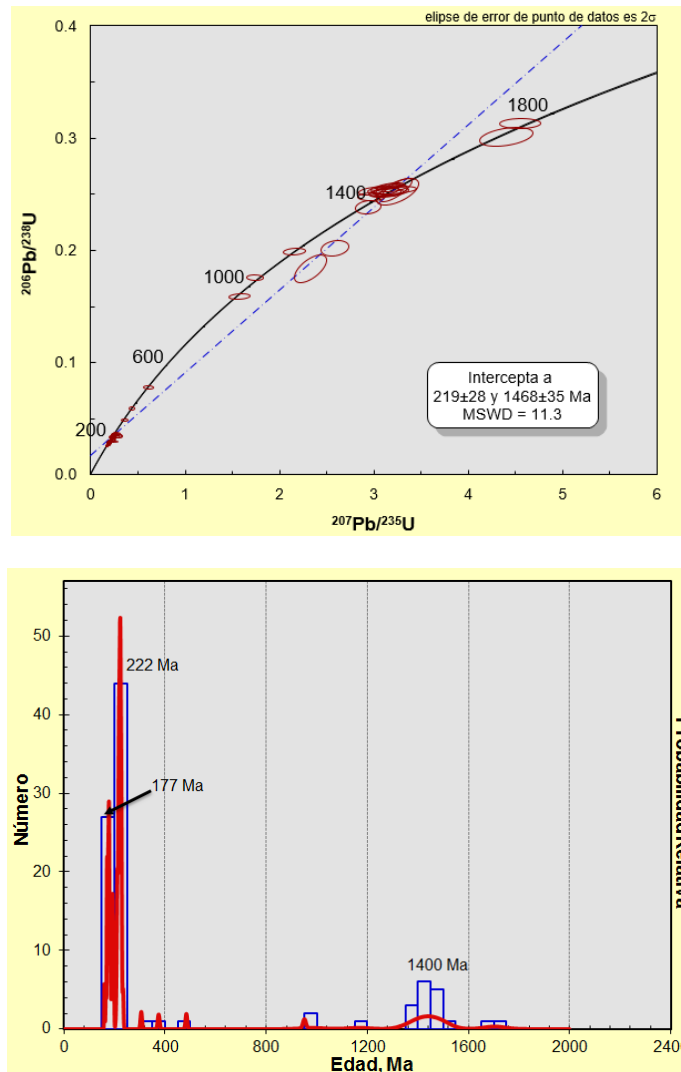


Figura 5.4 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 2.

La segunda muestra se tomó en una arenisca posicionada aproximadamente a 50 m del inicio de la sección (Figura 2.11) y se nombró con la clave RBMF 3. De esta muestra también se fecharon cien zircones de manera aleatoria, de donde noventa y tres fueron tomados en cuenta debido a que presentaban edades concordantes. Las edades obtenidas en esta muestra presentaron una notoria característica, todos los resultados fueron de edad Proterozoico, donde el rango de edad fue de 1300 Ma hasta 1700 Ma. Además, los cristales de zircones se presentaron en dos poblaciones primarias, Mesoproterozoico y Neoproterozoico, siendo este último en el que se concentran la gran mayoría de cristales (un total de noventa). Por último, la concentración de la relación Th/U para los granos de zircones detríticos tuvo un rango de .12 - 1.54, la mayoría de los cristales presento valores inferiores a 1 (Figura 5.5).

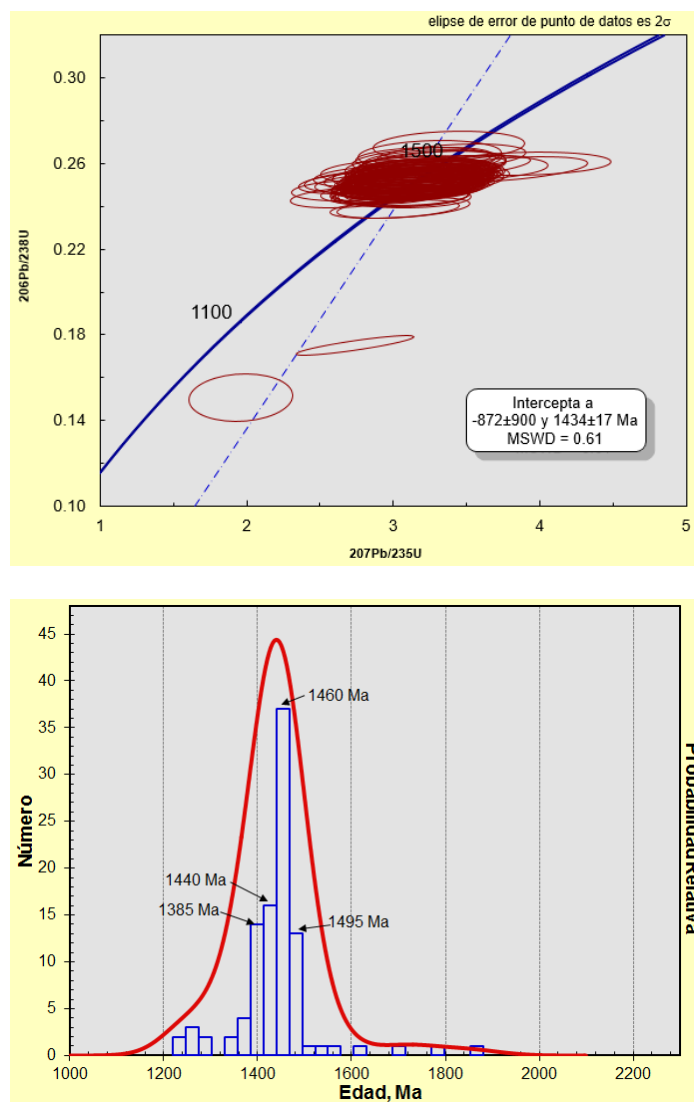


Figura 5.5 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 3.

Una tercera y última muestra de arenisca fue tomada en la cima de esta sección, cuya clave es RBMF 28 (Figura 2.11). Esta muestra presenta la mayor variación en cuanto a edades, ya que presenta edades del Cretácico-Arqueano). Al igual que en el resto de las muestras, cien granos de zircones detríticos fueron separados de manera aleatoria, de los cuales noventa y tres mostraron edades concordantes. La relación Th/U en estos cristales mostro un amplio rango de valores, de entre .6 y 7.7; además, la gran mayoría de las muestras presenta valores muy elevados en esta relación ($Th/U > 1$). Por otra parte, el rango de edades como ya se mencionó anteriormente es muy amplio, este va desde los 120.4 Ma (Aptiano) hasta los 2731.5 Ma (Neoarqueano). Sin embargo, los principales grupos de zircones detríticos del Fanerozoico se agruparon en, Silúrico, Devónico, Carbonífero, Pérmico, Triásico y Jurásico; además de tenerse un cristal Cámbrico, Ordovícico y Cretácico. Estos zircones Proterozoicos se dividen en tres poblaciones primarias, Paleoproterozoico, Mesoproterozoico y Neoproterozoico; además de una pequeña población del Neoarqueano.

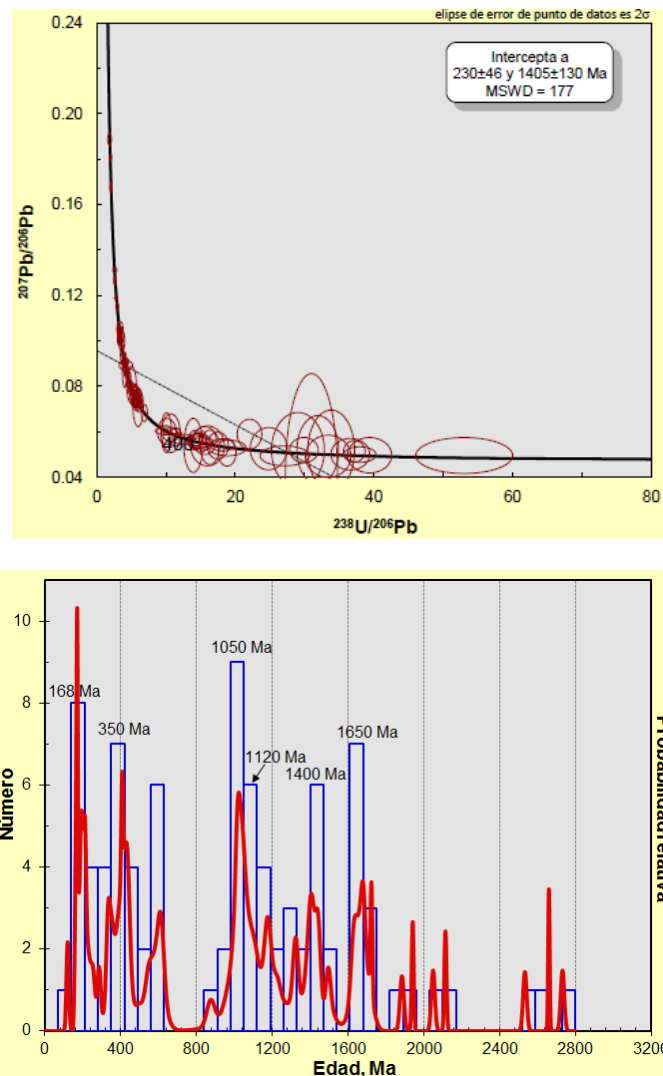


Figura 5.6 Diagrama de concordia (superior) e histograma (inferior) de la muestras RBMF 28.

5.3 Interpretación

La geocronología de U-Pb realizada en zircón detrítico de la Formación Morita del noroeste de Sonora descrita anteriormente indica cuatro principales poblaciones distintivas de circones detríticos: (1) Proterozoico; (2) Paleozoico; (3) Triásico y (4) Jurásico. Los granos del Arqueano son raros, sin embargo están presentes en las muestras de la sección Sierra Anibacachi y Rancho Bufalo (SAMF 24 y RBMF 28, respectivamente). Los circones del Proterozoico caen en 3 grupos de edades, con rangos de 2403 a 1607 Ma (Paleoproterozoico), 1599 a 1001.6 Ma (Mesoproterozoico) y 983 a 543 Ma (Neoproterozoico). Los granos del Proterozoico constituyen aproximadamente la mitad de los granos en las muestras SAMF 5, SAMF 24 y RBMF 28, mientras que en RBMF 3 son completamente dominantes (casi cien por ciento), por otro lado, la muestra RBMF 2 tan solo tiene un 21% de granos de zircón Proterozoicos.

Los circones Paleozoicos presentan rangos de edades que van desde aproximadamente 495 a 253 Ma y forman 4 grupos principales en la totalidad de circones de las 5 muestras, dichos grupos se presentan en los rangos de edades 441 a 425 Ma (Silúrico), 415 a 369 Ma (Devónico), 358 a 306 Ma (Carbonífero) y 286 a 253 (Pérmico); sin embargo, los grupos del Paleozoico no superan el 8% de cada muestra estudiada.

Los granos del Triásico están bien representados en la Formación Morita y constituyen una importante población con un rango de edad de 250 a 203 Ma. Estos constituyen aproximadamente un tercio de los granos en las muestras SAMF 5 y SAMF24. En la muestra RBMF28 solo representan el 5%, mientras que están completamente ausentes en la RBMF 3. Sin embargo, este grupo representa aproximadamente la mitad de la población de circones de la muestra RBMF 2, siendo los granos de esta edad la mayor población de esta muestra, a diferencia del resto de las muestras donde la mayor población recae en las poblaciones de edad Mesoproterozoica.

La población de granos de circones de edades Jurásicas tiene un rango de edad de 200 Ma a 160 Ma. Las poblaciones de ellos en las muestras SAMF 5, SAMF 24 y RBMF 28 se encuentran en un rango de porcentajes del 6 a 11 (6, 11 y 8, respectivamente), sin embargo, la muestra RBMF 3 carece de circones de esa edad, pero por otra parte, la muestra RBMF 2 presenta una población de 29%, siendo esta muestra la que presenta mayor población de granos Jurásicos.

Un único grano de zircón de edad Cretácica (120 Ma) fue fechado de en la muestra RBMF 28 colectada de la parte superior de la Formación Morita. Basado en esta edad y en su posición estratigráfica dentro de la Formación Morita, la edad máxima de depositación para la parte superior de la Formación Morita en la localidad de Rancho Bufalo es Aptiano Temprano (120 ± 1 Ma).

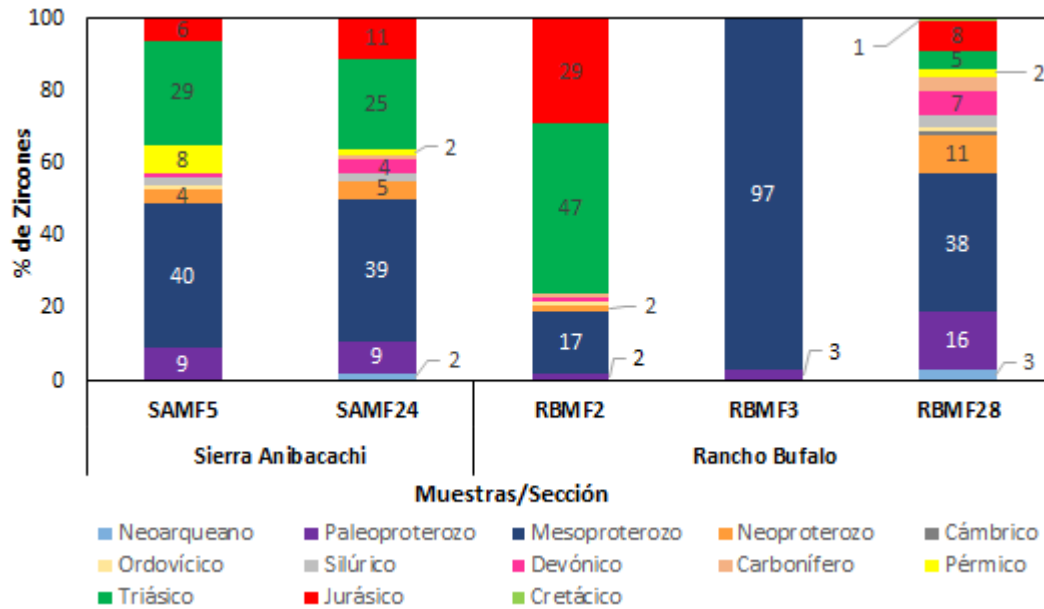


Figura 5.7 Porcentaje de zircones de las muestras estudiadas en las secciones Sierra Anibacachi y Rancho Bufalo.

Los granos más antiguos a 2.4 Ga podrían ser derivados de las provincias Arqueano Temprano-Proterozoicas del cratón interior de Norte América o de la provincia Mojave (Gross et al., 2000). Dickinson y Gehrels (2003) señalan que los zircones más antiguos de las areniscas eólicas de edades Pérmicas y Jurásicas de la Meseta de Colorado pueden provenir de los basamentos Proterozoicos (2.2-1.8 Ga) y Arqueanos (3.0-2.6 Ga) del escudo Laurentino, o ser reciclados de su cubierta sedimentaria. Dicha Meseta se localiza al noreste del estado de Arizona, por lo cual es una fuente probable de dichos zircones en la Formación Morita del noreste de Sonora. Gehrels y Stewart (1998) también reportaron zircones de estas edades de las rocas ordovícicas sedimentarias de Sonora y mencionaron que las rocas del basamento de la región de arco Peace River (Ross, 1991) podrían haber contribuido zircones con tales edades.

Los grupos de zircones detríticos con edades entre 1.8 a 1.7 Ga posiblemente tengan su fuente en los granitoides del Bloque Caborca los cuales afloran en distintas localidades en Sonora, por ejemplo cercanos a Quitovac (Iriondo et al., 2004) donde se tienen gneises bandeados de varios afloramientos ubicados en la Sierra Los Tanques al oeste de Sonoyta, con edades de entre 1763 y 1682 Ma (Arvizu-Gutiérrez, 2012; Arvizu e Iriondo, 2015); una unidad granítica de 1.7 Ga de El Crestón en Opodepe (Valenzuela-Navarro et al., 2003). De esta manera, zircones con edades en ese rango de edades en las muestras estudiadas, serían transportados desde una posición al este de la Cuenca Bisbee, procedentes del Bloque Caborca. Por otro lado, los zircones ligeramente más jóvenes, con edades de 1.7-1.6 procederían del Bloque de Norteamérica, compuesto de un conjunto de grauvacas metamorfizadas, filitas y flujos de lavas que conforman el Esquisto Pinal (Silver y Anderson, 1974, 1983; Anderson y Silver, 1978, 1979), el cual se encuentra

aflorando en las Sierras los Ajos y Mesteñas. También, un granito calciocalino y una cuarzomonzodiorita de la parte oriental de Quitovac, con edades de 1714-1657 Ma; en la sierra Hornaday (cercana al Pinacate y Cabeza Prieta) donde afloran gneiss con edades de 1643-1651 Ma (Espinoza et al., 2005); en el cerro el Águila, donde se encuentra un granito homónimo (Granito el Águila) con edad de 1697 Ma (Premo et al., 2003).

Por otro lado, zircones con edades de ~1.4 Ga tienen su fuente de procedencia de los granitoides que se encuentran intrusionando al Bloque Caborca (por ejemplo el granito Siete Cerros) y al Bloque de Norteamérica (por ejemplo el Granito Cananea), ambos ubicados al oeste de las secciones estudiadas (Anderson y Silver, 1977, 1981). Sin embargo, es muy probable que zircones de estas edades también pueden proceder de otro cuerpo granitoide que intrusiona al Esquisto Pinal y que además aflora en una región más cercana a las secciones estudiadas (se encuentra en la parte sur de la Sierra Las Mesteñas y en el flanco oriental del Cerro Cabullona), este es llamado Granito Mesteñas y se le asigna una edad similar al Granito Cananea (Anderson et al. 1979).

Los zircones Mesoproterozoicos con rangos de edad entre 1.0 y 1.2 Ga de edad pueden haber sido transportados en los sedimentos procedentes de los granitoides del cinturón Grenvilliano espacialmente asociados con el Bloque Caborca, los cuales se encuentran cercanos a la región de Quitovac (Iriondo et al., 2004; Gross et al., 2000) y al sur de Caborca (granito Aibo) con una edad de 1110 Ma (Anderson et al., 1979). También se tienen afloramientos de estas edades al este-noreste del área de estudio, en el oeste y centro de Texas así como noreste de México (Gross et al., 2000). Sin embargo, es posible que los zircones de estas edades también sean reciclados de las rocas Paleozoicas expuestas en el Bloque Caborca (Gehrels y Stewart, 1988; Stewart et al., 2001).

Por otro lado, las poblaciones de zircones del Neoproterozoico y Paleozoico pueden tener su fuente de distintos afloramientos de unidades sedimentarias ubicadas en el norte-central y noreste de Sonora. Algunos de estos afloramientos son las Formaciones Basómari y Lili del Jurásico en el norte central y noreste de Sonora (González-León et al., 2009), donde se tienen poblaciones de zircones Neoproterozoicos y Paleozoicos los cuales probablemente fueron transportados desde los campos de areniscas eólicas Jurásicas en Arizona (areniscas Wingate, Navajo y Estrada), donde poblaciones de granos con rangos de edades entre 747 y 309 Ma están bien representados (Dickinson y Gehrels, 2003; González-León et al., 2009).

Los zircones del Permo-Triásico son abundantes en las muestras analizadas, rocas con edades similares se encuentran aflorando en distintas áreas del estado de Sonora y en el suroeste de EUA. Algunas localidades con rocas de estas edades son el arco magmático Triásico del Desierto Mojave en California, el cual está compuesto por granitos que tienen un rango de edad de ~210 Ma a ~260 Ma (Barth et al., 1990, Miller et al., 1995, Barth et

al., 1997, Barth et al., 2001; Walker et al., 2002; González-León et al., 2005; Barth y Wooden, 2006); el arco Permo-Triásico del noreste de México, cercano a los estados de Chihuahua y Coahuila el cual incluye principalmente intrusivos graníticos y rocas riolíticas con edades de entre 270 a 220 Ma (Gehrels y Stewart, 1998; Torres *et al.*, 1999); y las rocas graníticas (granodioritas, seguido por las cuarzomonzodioritas y monzogranitos) de la Sierra Los Tanques al noroeste del estado de Sonora, las cuales presentan un rango de edades de entre 284 a 221 Ma (Arvizu e Iriondo, 2015). Las localidades mencionadas anteriormente son consideradas como las probables áreas fuentes de los zircones Permo-Triásicos de este estudio.

Rocas Jurásicas volcánicas se encuentran aflorando en la región noroeste y septentrional del estado de Sonora, sin embargo dichas rocas se encuentran ausentes hacia el sur del estado (Rodríguez-Castañeda y Anderson 2010). Se tienen presentes rocas volcánicas, volcanoclásticas, clásticas y plutónicas del Jurásico Medio y Superior, las cuales se extienden desde Sonoyta hasta Nacozari (Anderson, et al., 2005; Rodríguez-Castañeda y Anderson, 2010). Algunos de estos afloramientos en Sonora son: la granodiorita el Capitán, en San Luis Río Colorado (164 Ma); la granodiorita en el Cerro El Sahuaro (153 Ma), situada al noroeste del Cerro del Álamo; la cuarzomonzonita porfídica de rancho Gabino (170 Ma) y un granito porfídico al norte de El Plomo (166 Ma), las cuales son similares a rocas aflorantes en Kitt Peak en Arizona (165 Ma); un granito cercano al rancho Moisés (149 Ma) similar al granito que forma el pico Baboquivari (146 Ma) del sur de Arizona; una riolita en el flanco este de la Sierra El Cobre, cerca del rancho Cubabi (con edades de 176 Ma y 157 Ma); rocas Jurásicas que forman parte del Alto de Cananea (McKee, 1991; Grijalva-Noriega, 1995); un pórfido de cuarzo de 160 y 159 Ma al norte de Quitovac y sur de Puerto La Silla (Longoria y Pérez-Venzor, 1979; Solano-Moreno, 1989; Tosdal et al. 1989, Anderson y Nourse, 2005; Anderson *et al.*, 2005; Haxel *et al.*, 2005; Rodríguez-Castañeda y Anderson 2010). Los afloramientos más cercanos a las secciones estudiadas son intrusivos de edades Jurásicas de las Sierras Los Ajos (en puerto Mababi al sur de Los Ajos, Anderson et al., 2005 fecharon un granito de biotita con resultados de 173 y 177 Ma), Buenos Aires y Púrica, las cuales se localizan al sureste de Cananea y Noroeste de Nacozari (Arriaga-Meléndez, et al., 2008; Rodríguez-Castañeda y Anderson 2010). Es muy probable que la fuente de los zircones sedimentarios de edades Jurásicas que se obtuvieron de las secciones estudiadas se encuentre en los afloramientos mencionados.

Granos de zircones del Aptiano (128-112 Ma) fueron derivados del arco volcánico Alisitos del Cretácico Temprano el cual se extendía de Oeste a Suroeste antes de la apertura transtensional del Golfo de California (Dickinson y Lawton, 2001; Jacobson et al., 2010, Peryam et al., 2012). Es importante señalar que aunque solo una muestra presentó un grano de zircón de edad Cretácica (120 Ma), es de utilidad ya que como se mencionó anteriormente permite inferir la edad máxima de depositación de la Formación Morita, como Aptiano.

CAPITULO 6. GEOQUÍMICA DE ZIRCÓN

6.1 Introducción

El zircón es un mineral accesorio singular debido a su abundante ocurrencia, variando desde rocas de la corteza hasta xenolitos del manto, rocas lunares, meteoritos y tectitas (Speer, 1980). Esto es muy común en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, y es particularmente común en rocas plutónicas. Debido a su resistencia tanto física como química además de su extraordinaria resistencia al reequilibrio difusivo bajo altas temperaturas, el zircón es particularmente invaluable para investigar la evolución de antiguos y complejos de sistemas magmáticos silíceos (Cherniak *et al.*, 1997a, b; Watson y Cherniak, 1997; Belousova *et al.*, 2002; Cherniak y Watson, 2003). Los granos de zircón tienen una importante influencia en el comportamiento de elementos tierras raras, Y, Th, U, Nb y Ta (Belousova *et al.*, 2002). La abundancia y relación de esos elementos traza son considerados como una poderosa herramienta para distinguir zirrones de diferentes fuentes (Chyi, 1986; Heaman *et al.*, 1990).

Dado que los granos de zircón pueden soportar varios episodios de sedimentación, magmatismo, y/o metamorfismo manteniendo la información química y edad, numerosas investigaciones se han centrado en relacionar la geoquímica de elementos traza del zircón con la procedencia (e.g., Hoskin e Ireland, 2000; Belousova *et al.*, 2002). La determinación de la procedencia de zirrones detríticos es de interés tanto en los ambientes sedimentarios antiguos como modernos, donde las rocas fuente pueden ser pobremente definidas o incluso desconocidas. Otra característica importante es que los zirrones cristalizan con una relación U/Pb extremadamente alta y retienen los productos hijos del decaimiento radioactivo de U y Th, de modo que la formación y frecuencia de edades medidas por U-Th-Pb en poblaciones de zirrones detríticos proporciona información respecto a las edades de elementos de la corteza en la región fuente y el recorrido de los clastos (Roback y Walker, 1995; Machado *et al.*, 1996; Ireland *et al.*, 1998; Sircombe, 1999). Las poblaciones de cristales de zircón dentro de un sedimento o roca sedimentaria podrían entonces ser usadas potencialmente para determinar tanto la edad como el tipo de roca de la región fuente (Dabard *et al.*, 1996; Hoskin e Ireland, 2000).

6.2 Metodología

Se llevaron a cabo análisis de elementos traza y tierras raras en granos de zircón de 4 muestra de arenisca de la Formación Morita. Dichos análisis se obtuvieron mediante un espectrómetro de masas por ablación láser con plasma inductivamente acoplado (LA-

ICP-MS) en el Laboratorio de Estudios Isotópicos, del Centro de Geociencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México, conforme a los procedimientos en Solari et al. (2010). El experimento comenzó con el análisis de un vidrio RM estándar NIST SRM 612, seguido por cinco zircones como materiales de referencia, cinco desconocidos, y después de eso una muestra de zircón de referencia por cada cinco desconocidos. El experimento terminó con dos análisis de zircones de material de referencia y otro de NIST SRM 612. Aproximadamente 20 s de datos de gas de valor de fondo fueron recolectados, con el disparo del láser pero con el obturador cerrado, antes de cada ablación 30 s tanto de calibradores y desconocidos, seguido por 35 s de tiempo post análisis entre el tiempo de lavado y reposicionamiento (es decir, un total de 85 s por análisis).

Durante el análisis de zircón las señales para los siguientes isotopos fueron recolectadas: ^{29}Si , ^{31}P , ^{49}Ti , ^{89}Y , ^{91}Zr , ^{139}La , ^{140}Ce , ^{147}Sm , ^{153}Eu , ^{163}Dy , ^{175}Lu , ^{177}Hf , con tiempos de 5 y 10 ms. Si y Zr fueron usados como elementos estándar internos para la cuantificación de contenido de elementos traza, considerando su concentración estequiometrica en zircón, mientras P, Ti, Y y REE se monitorearon como indicadores de inclusiones no deseadas, tales como fosfatos u otros silicatos (e.g., titanita), lo cual podría modificar artificialmente la relación U-Th-Pb del zircón, y producir una cantidad anormal de Pb común. Dado que las concentraciones de elementos traza en zircones pueden ser usadas también como indicadores petrogenéticos (Hoskin e Ireland 2000, Pupin 2000, Hoskin y Schaltegger 2003, Belousova *et al.* 2006, Grimes *et al.* 2007), este método tiene capacidades que se extienden más allá de la geocronología.

6.3 Resultados

6.3.1 Elementos traza y tierras raras en zircón

Cuatro muestras de areniscas fueron seleccionadas de la Formación Morita para su estudio de elementos traza y tierras raras en zircones detríticos (dos muestras de Sierra Anibacachi, SAMF5 y SAMF24; y dos muestras de Rancho Búfalo, RBMF2 y RBMF3). Las concentraciones están dadas en los Anexos del 6 al 8.

La muestra SAMF5 es una arenisca de grano medio tomada en la base de la sección Sierra Anibacachi. Un total de noventa y ocho granos de zircones fueron seleccionados aleatoriamente para el estudio de REE y trazas. Los zircones analizados tienen grandes variaciones en concentraciones de U, Th y Hf (48 – 1581 ppm; 25 – 2423 ppm; 9580 – 19570 ppm; respectivamente). Similarmente, la relación Th/U también varió considerablemente (0.11 – 1.38, 0.52 ± 0.28). La muestra SAMF24 es una arenisca de grano medio recolectada de la parte superior de la sección Sierra Anibacachi. En esta muestra un total de noventa y nueve granos fueron seleccionados para su estudio. Los zircones de esta muestra presentan variaciones importantes en contenidos de U, Th y Hf

(26 – 1353 ppm; 23 – 540 ppm; 6740 – 15120 ppm; respectivamente). Las relaciones Th/U son más variables con un rango de 0.12 a 1.38 (0.52 ± 0.28).

La muestra RBMF2 es una arenisca de grano fino a medio de la base de la sección Rancho Búfalo. Cien zircones fueron seleccionados para el estudio de elementos traza y tierras raras. Los zircones analizados muestran amplias variaciones en sus concentraciones de U, Th y Hf (19 – 833 ppm; 12 – 831 ppm; 4680 – 11350 ppm; respectivamente). Además, la relación Th/U también varió significativamente (0.27 – 1.91, 0.84 ± 0.36). La muestra RBMF3 es una arenisca de grano medio colectada de la parte inferior de la sección Rancho Búfalo. Un total de noventa y tres granos fueron seleccionados para el estudio de elementos traza y tierras raras. Los contenidos de los elementos U, Th y Hf en zircones variaron notablemente (34 – 713 ppm; 29 – 428 ppm; 7230 – 19600 ppm; respectivamente). En general, los zircones muestran grandes variaciones en la relación Th/U (0.12 – 1.38, 0.52 ± 0.28).

Las concentraciones de Σ REE en zircones varía significativamente de muestra a muestra, e incluso de grano a grano en cada muestra (SAMF5: 332 – 2996 ppm; SAMF24: 101 – 1980 ppm; RBMF2: 163 – 3761 ppm; RBMF3: 228 – 4384 ppm). Los zircones con las concentraciones más altas de Σ REE también tienen las más altas concentraciones de Y. En diagramas de patrones REE normalizadas con condrita (McDonough y Sun, 1995), la mayoría de los zircones de SAMF5, SAMF24, RBMF2 y RBMF3 presentan patrones de empobrecimiento de LREE y un fuerte enriquecimiento de HREE con anomalías positivas de Ce y negativas de Eu (Figuras 6.1 y 6.2). Algunos zircones tienen un relativo plano de LREE y un fuerte enriquecimiento de HREE con anomalía ausente o positiva de Ce y una anomalía negativa de Eu o ausencia de la misma.

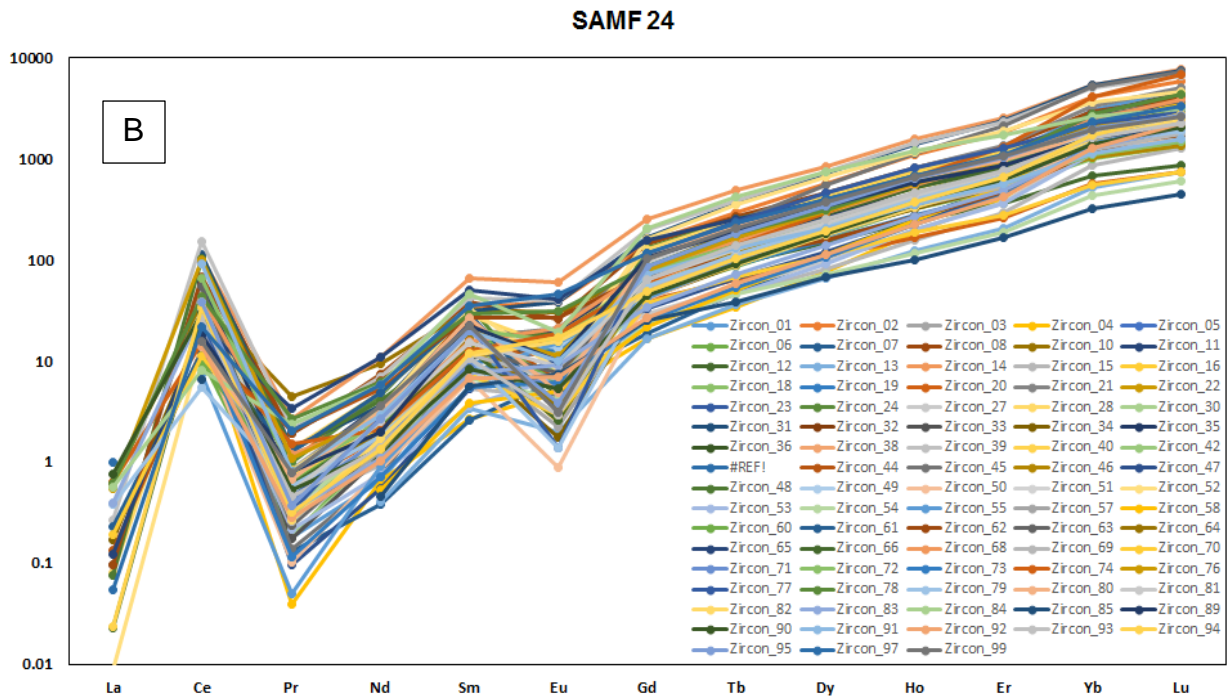
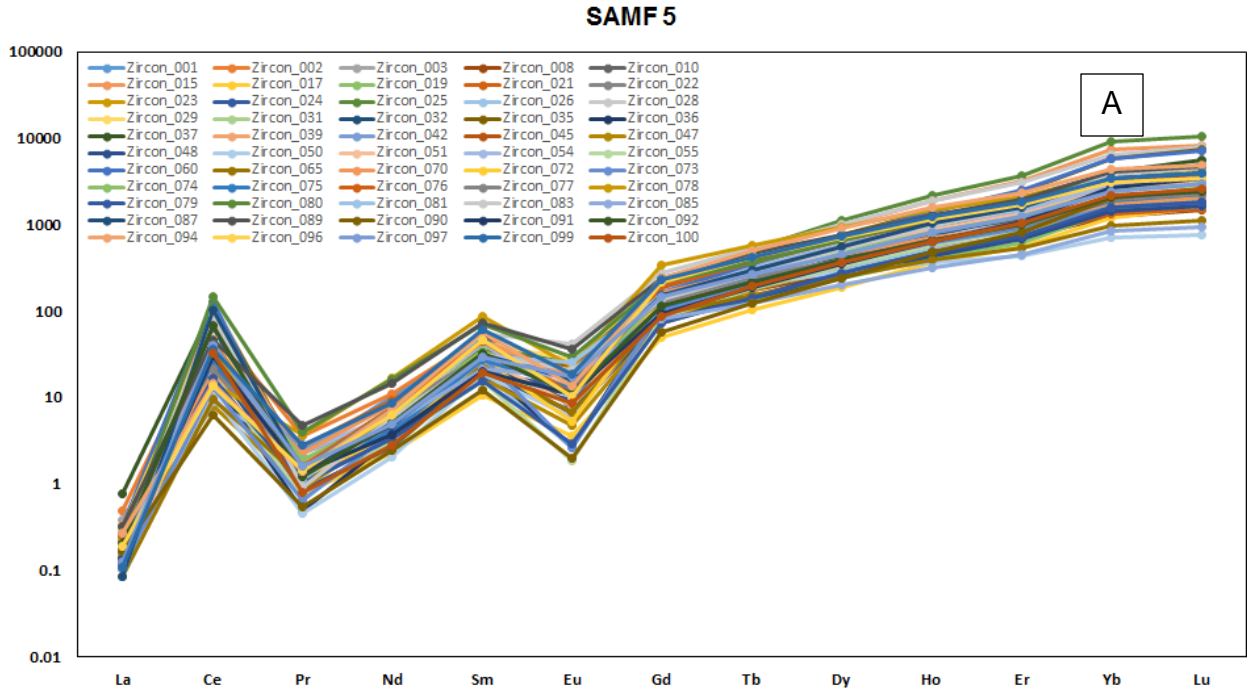


Figura 6.1 Patrones de elementos tierras raras en zircones de la sección Sierra Anibacachi A) SAMF 5, B) SAMF 24.

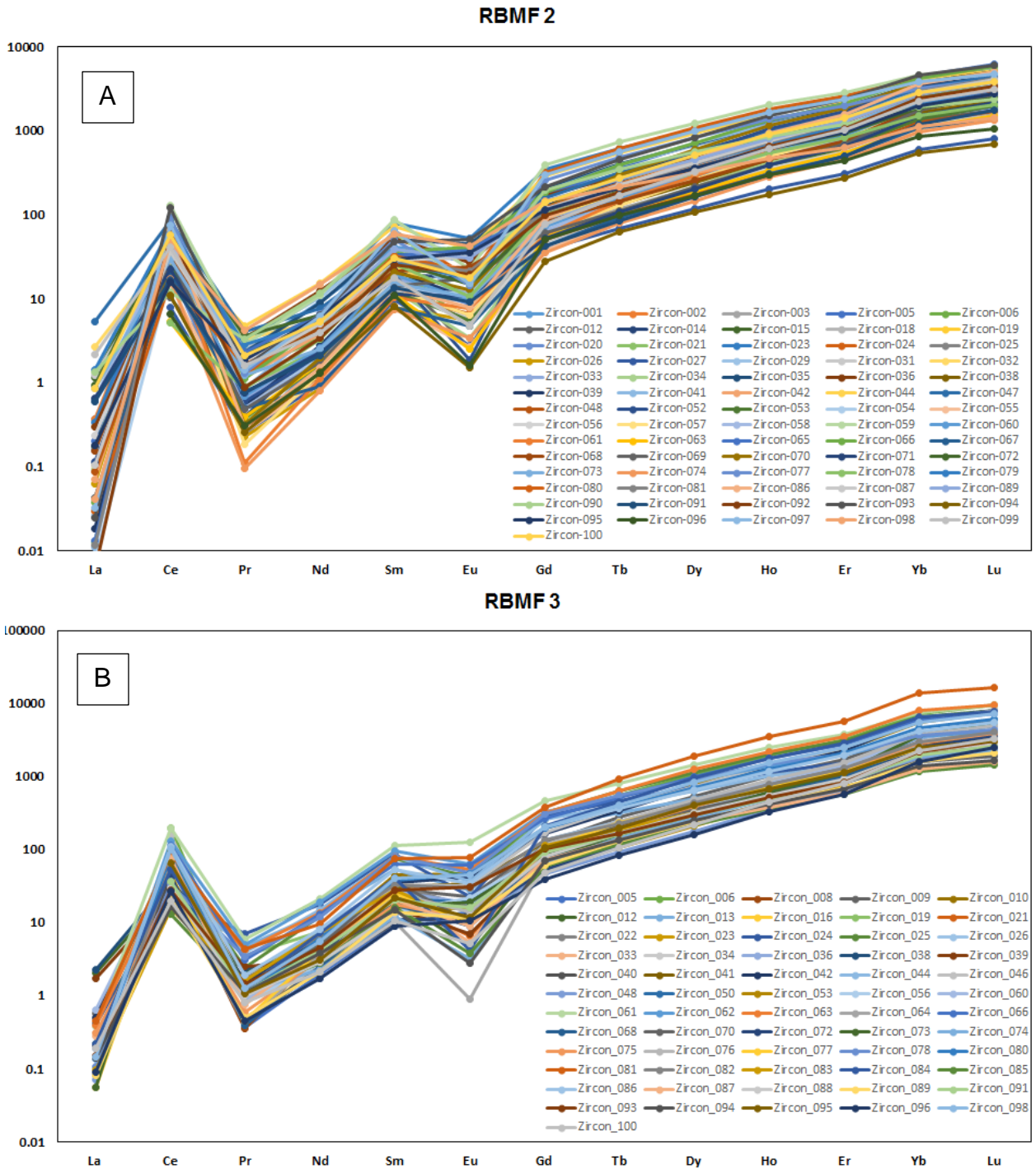


Figura 6.2 Patrones de elementos tierras raras en zircones de la sección Rancho Búfalo A) RBMF2, B) RBMF 3.

6.4 Implicaciones para los estudios de zircones detríticos

La geoquímica de zircones proporciona tanto un registro de la fraccionación química del fundido durante el enfriamiento y cristalización del magma (Hf, REE, y Th/U varían entre zircones en una muestra) así como una estimación de la relación genética dentro de una

serie de rocas volcánicas y plutónicas. Los elementos Hafnio y Uranio son incorporados por una simple sustitución de Zr (i.e., $\text{Hf}^{4+} = \text{Zr}^{4+}$; Hoskin y Schaltegger, 2003) y no requieren sustituciones adicionales para el balance de carga. Las concentraciones de U y Th están enriquecidas en magmas de arco (y en la corteza continental) en comparación con los MORB, mientras que los HREE (i.e. Yb) así como el Hf e Y pueden estar ligeramente empobrecidos en magmas de arco (Grimes *et al.*, 2007). Por lo tanto, la relación U/Yb en zircones reflejara la masa fundida al momento de la cristalización. Las variaciones en la relación U/Yb proporciona un método efectivo para determinar la procedencia del zircón, y cuando es graficado contra otros elementos tales como Hf, Y o P, además de las HREE, permiten discriminar entre zircones de la corteza oceánica y zircones continentales (Grimes *et al.*, 2007).

Las variaciones de la relación elemental Th/U en los zircones se ha usado de manera exitosa para discriminar entre zircones ígneos y metamórficos por geocronólogos a través de los años (e.g., Ahrens *et al.*, 1967; Williams *et al.*, 1996). Las abundancias de Th y U son más variables, pero la relación Th/U generalmente disminuye del núcleo al borde, y por lo tanto esta relación se correlaciona negativamente con la temperatura y la abundancia de Hf en zircones ígneos (Claiborne *et al.*, 2010; Barth y Wooden, 2010). Sin embargo, la relación Th/U de zircones ígneos raramente cae a los bajos niveles observados en rocas metamórficas de mediano a alto grado (Th/U <0.07; Rubatto, 2002), y así esta relación y co-variación en abundancia de elementos tierras raras puede ser útil para inferir el crecimiento de zircón metamórfico (e.g., McClelland *et al.*, 2009). Los zircones metamórficos generalmente tienen relaciones Th/U con valores de 0.01–0.08, mientras los zircones de origen ígneo tienen un rango de 0.16 a 2.37 (Hoskin y Ireland, 2000). Mayores valores que Th/U=1 son poco comunes para la mayoría de zircones ígneos, los valores típicos están dentro del rango 0.4–1.0.

En el presente estudio, las relaciones Th/U de 197 zircones separados de las areniscas de Sierra Anibacachi (SAMF5: 98 granos de zircón; SAMF24: 99 granos de zircón) y 283 zircones de Rancho Búfalo (RBMF2: 100 granos de zircón; RBMF3: 93 granos de zircón; RBFM29: 90 granos) de la Formación Morita se han agrupado en orden de acuerdo a sus edades, es decir, zircones mesozoicos (MZ), zircones paleozoicos (PZ), zircones neoproterozoicos (NZ), zircones mesoproterozoicos (MZ) y zircones paleoproterozoicos (PPZ) para entender las variaciones entre diferentes grupos de zircones (Tabla 6.2). Los zircones de la sección Sierra Anibacachi tienen distintas variaciones en la relación Th/U entre las diferentes poblaciones de edades: MZ tienen relaciones Th/U de 0.12 – 2.32, mientras el rango para PZ es de 0.14 – 1.37, para NPZ el rango se encuentra entre 0.11 y 0.94. Igualmente, las relaciones Th/U en MPZ y PPZ varían considerablemente (0.19 – 1.95; 0.20 – 1.35; respectivamente). Un zircón de cada una de las poblaciones MZ, PZ y MPZ tiene relaciones Th/U <0.1. Similarmente, los zircones de la sección Rancho Búfalo muestran grandes variaciones en la relación Th/U dentro de la misma población de

edades y también entre varios grupos de edades. A continuación se enlistan los rangos para la sección: MZ: 0.42 – 1.79, PZ: 0.13 – 1.91, NPZ: 0.13 – 1.27, MPZ: 0.12 – 1.54, PPZ: 0.30 – 1.72.

Las concentraciones de U, Yb y Hf en los zircones son significativamente variadas en las muestras estudiadas. De igual forma, la relación U/Yb de los zircones de las secciones Sierra Anibacachi (SAMF5: 0.11 – 3.12, 0.82 ± 0.58 ; SAMF24: 0.10 – 4.80, 1.11 ± 0.92) y Rancho Búfalo (RBMF2: 0.10 – 1.94, 0.66 ± 0.44 ; RBMF3: 0.12 – 3.35, 0.80 ± 0.57) muestran grandes variaciones entre ellos y también en zircones de otras muestras.

El promedio de las relaciones U/Yb para zircones de diferentes ambientes varía significativamente. Las relaciones U/Yb son más bajas en gabros oceánicos (0.18) que en granitoides continentales (1.07) y kimberlitas (2.1) (Grimes *et al.*, 2007). Las variaciones en la relación U/Yb sugieren variaciones en el promedio U/Yb de la roca total para lavas basálticas de las dorsales medio oceánicas (MORB) (0.01–0.1. Klein, 2003), granos de la corteza continental (0.7, Rudnick y Gao, 2003) y kimberlitas (4–6, Farmer, 2003). El promedio de las relaciones U/Yb en los zircones de las areniscas recolectados de la Formación Morita se encuentran dentro del rango para granos de la corteza continental y granitoides continentales. Además, diagramas de U contra Yb, y de la relación U/Yb contra Yb muestran más campos distintivos para zircones cristalizados en gabros oceánicos, granitoides continentales, y kimberlitas (Grimes *et al.*, 2007). En los diagramas U contra Yb, relación U/Yb contra Hf así como U/Yb contra Yb, la mayoría de los zircones caen en el campo de corteza continental, y pocas muestras caen en el campo de corteza oceánica en el diagrama U/Yb. Esto sugiere que la mayoría de los zircones fueron contribuidos por arco continental, mientras una menor cantidad de zircones fueron derivados de arcos oceánicos.

Las composiciones de REE de zircones en rocas de origen ígneo están altamente enriquecidos en REE pesadas, con enriquecimiento que disminuye sistemáticamente conforme a la disminución del número atómico (Hoskin y Schaltegger, 2003). La mayoría de los zircones de composición granítica tienen anomalías positivas de Ce y negativas de Eu. Belousova *et al.* (1998, 2002) propuso que los zircones del manto pueden ser distinguidos de los zircones de la corteza por la baja abundancia general de REE (e.g. $< \sim 50$ ppm). Los patrones de REE de los zircones cuya edad es conocida han sido usados para discutir la naturaleza de la fuente material de zircones (Ireland y Wlotzka, 1992; Maas *et al.*, 1992). Las variaciones en las anomalías Ce y Eu han sido usadas para evaluar las condiciones de cristalización de zircones. Zircones con ausencia de anomalía positiva de Ce son encontrados solamente en las muestras lunares las cuales fueron formadas bajo condiciones relativamente reducidas (Ireland y Woltzka, 1992), mientras zircones con ausencia de anomalía negativa de Eu se considera que fueron formados en

conjuntos ausentes de plagioclasas, incluyendo kimberlita y sienita (Belousova *et al.*, 2002) y eclogita (Rubatto, 2002; Bingen *et al.*, 2004).

En el presente estudio 360 zircones de 390 exhibieron patrones de REE similares con unos de origen ígneo, sin embargo, la abundancia de niveles de REE ligeras (La-Nd) y REE medias (Sm-Tb) son ligeramente variantes. La mayor parte exhibe una anomalía negativa de Eu (Figura 6.1), sugiriendo que son probablemente derivados de granitoides, pegmatitas y doleritas (Belousova *et al.*, 2002). El zircón puede ser formado por una variedad de procesos en rocas sometidas a metamorfismo, por ejemplo, por reacciones de transferencia neta, o estado sólido de recristalización, o en fundidos anatéticos de bajo volumen. Schaltegger *et al.* (1999) documentó zircones creciendo en presencia de fluidos acuosos y fundidos anatéticos en rocas metamórficas de alto grado de las Montañas Vosges, al este de Francia. A pesar de algunas variaciones en patrones REE del zircón para diferentes muestras de roca, encontraron que el zircón formado por estos diferentes procesos tiene abundancias y patrones de REE casi idénticos (Schaltegger *et al.*, 1999).

En total, 30 de los 390 zircones se caracterizan por un patrón casi plano de REE ligeras ($[Sm/La]_N = 0.5 - 2$), y una inclinación atípica en REE pesados relativa a otros patrones de REE de zircón (Figura 6.3 y 6.4). Estas características se relacionan a los procesos de formación por recristalización en estado sólido de zircón protolíticos. Se ha demostrado que la recristalización parcial en estado sólido produce patrones más planos de REE ligeras y patrones abruptos de REE pesadas, y deja una “memoria” de la química preexistente y la zonificación de los zircones protolíticos (Hoskin y Black, 2000).

Whitehouse y Kamber (2002) discutieron distintos mecanismos de producción de coeficientes de distribución aparente para REE ligeras en zircón, tales como distorsión del enrejado debido a sustitución acoplada y micro inclusiones de REE ligeras en fases enriquecidas tales como monzonita, xenotima, o apatito (mirar también Hinton y Upton, 1991). Las variaciones en patrones de REE en zircones probablemente refleja una cristalización contemporánea de minerales accesorios en los cuales los REE se comportan de manera compatible (i.e., esfena, alanita y chevkinita). El crecimiento de esos minerales modifica los patrones de REE en el fundido, y por lo tanto en el crecimiento del zircón. El abrupto patrón positivo en REE de medias a pesadas acompañado por un relativo plano en REE ligeras a medias en los diagramas de REE normalizados, sugiere un empobrecimiento relativo de REE medias y puede indicar crecimiento contemporáneo de zircón con esfena, que se incorpora principalmente en las REE medias (e.g., Glazner *et al.* 2008). La diferencia en patrones de REE puede ser el resultado del retrabajo del material cortical (Peck *et al.*, 2001) y también representa las diferencias en los materiales fuente o un subsecuente metamorfismo en etapas posteriores (Yao *et al.*, 2011).

En este estudio, 30 zircones tienen patrones de REE anormales y también muestran valores más altos de P lo cual sugiere que esos granos contienen fases ricas en REE ligeras (monzonita, xenotima y apatito) como micro inclusiones.

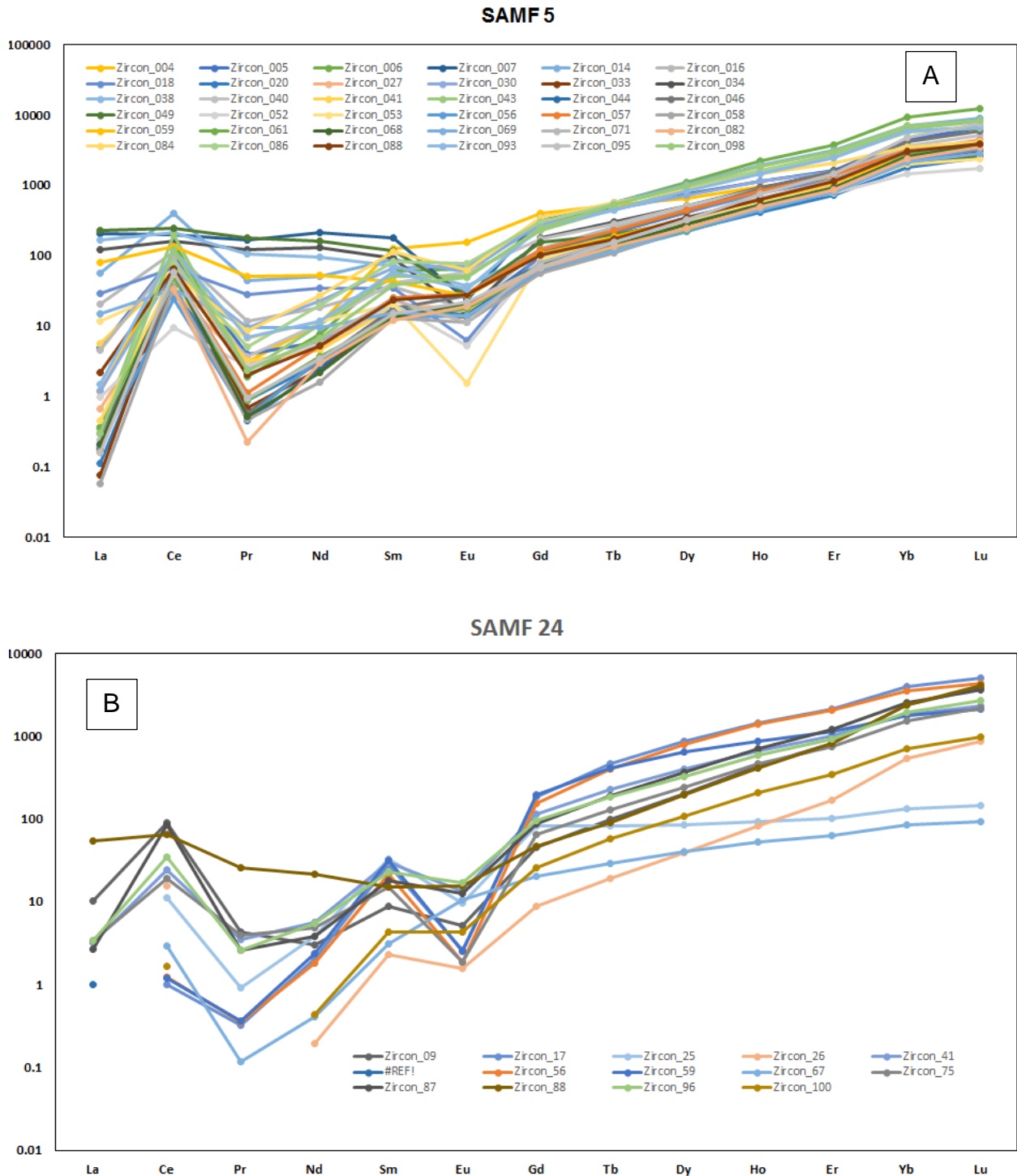


Figura 6.3 Patrones atípicos de elementos tierras raras en zircones de la sección Sierra Anibacachi. A) SAMF 5, B) SAMF 24.

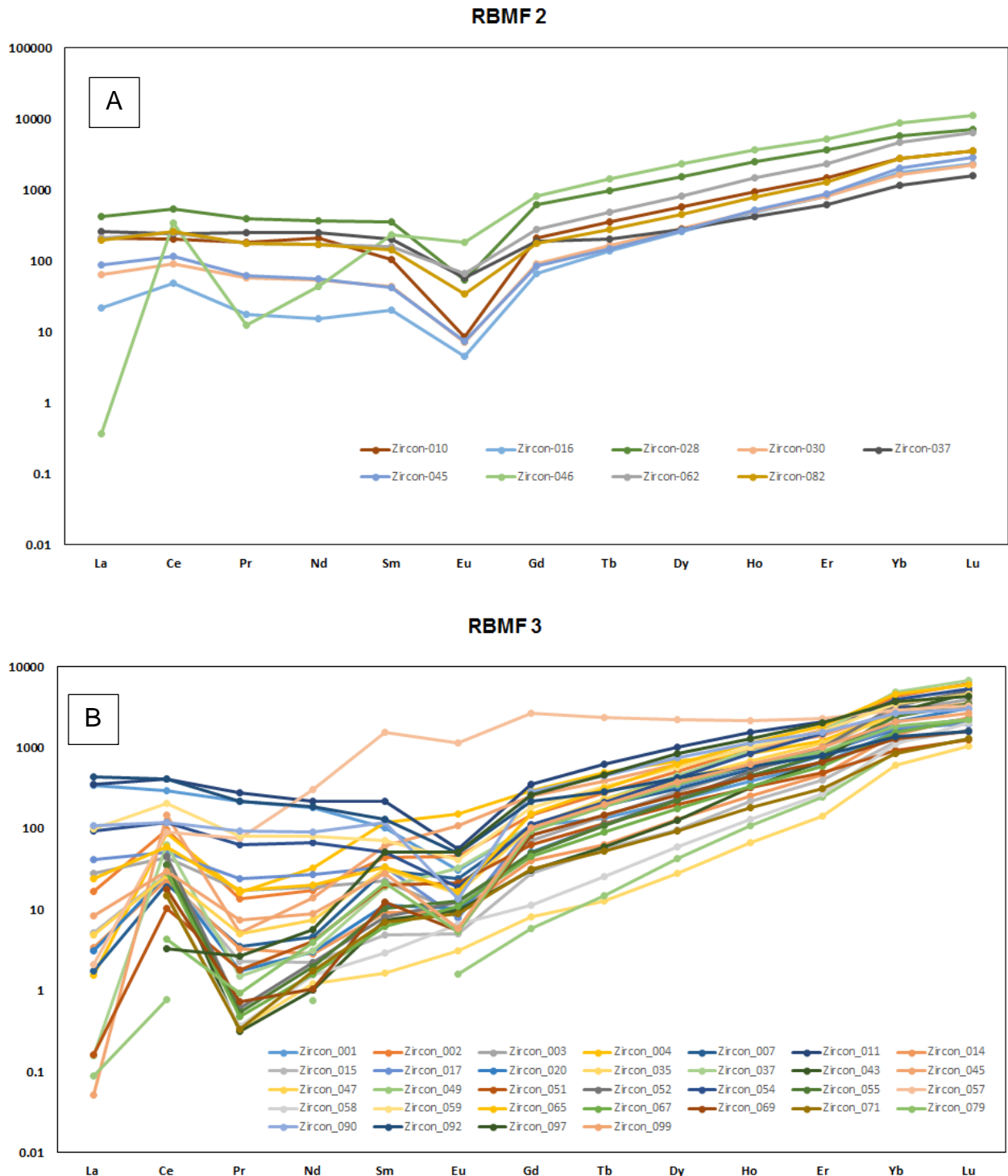


Figura 6.4 Patrones atípicos de elementos tierras raras en zircones de la sección Rancho Búfalo.
A) RBMF 2, B) RBMF 3.

Ciertos elementos traza y tierras raras (REE) en zircones son usados para identificar las características de las rocas fuente (Belousova *et al.*, 2002). Belousova *et al.* (2002) propusieron distintos diagramas bivariados para distinguir las rocas fuentes para zircones

utilizando elementos traza y REE. Ellos diferenciaron varios campos tales como granitoides, sienita nefelítica y sienita pegmatita, rocas máficas, carbonatita, sienita, lamproitas y kimberlitas. En este estudio, usamos los diagramas basados en Y contra U así como Y contra la relación Yb/Sm para inferir la fuente de los granos de zircón. En el diagrama Y contra U, la mayoría de los zirrones tanto de la sección Sierra Anibacachi como de Rancho Búfalo caen en los campos de leucogranitos y granitos. De igual forma, en el diagrama Y contra Yb/Sm, los zirrones analizados caen en los campos de granito, sienita nefelítica y sienita pegmatítica. Los diagramas bivariados de Belousova *et al.* (2002) sugieren que la mayoría de los zirrones de la Formación Morita fueron derivados de rocas de naturaleza félsica (Figuras 6.5A a 6.5D).

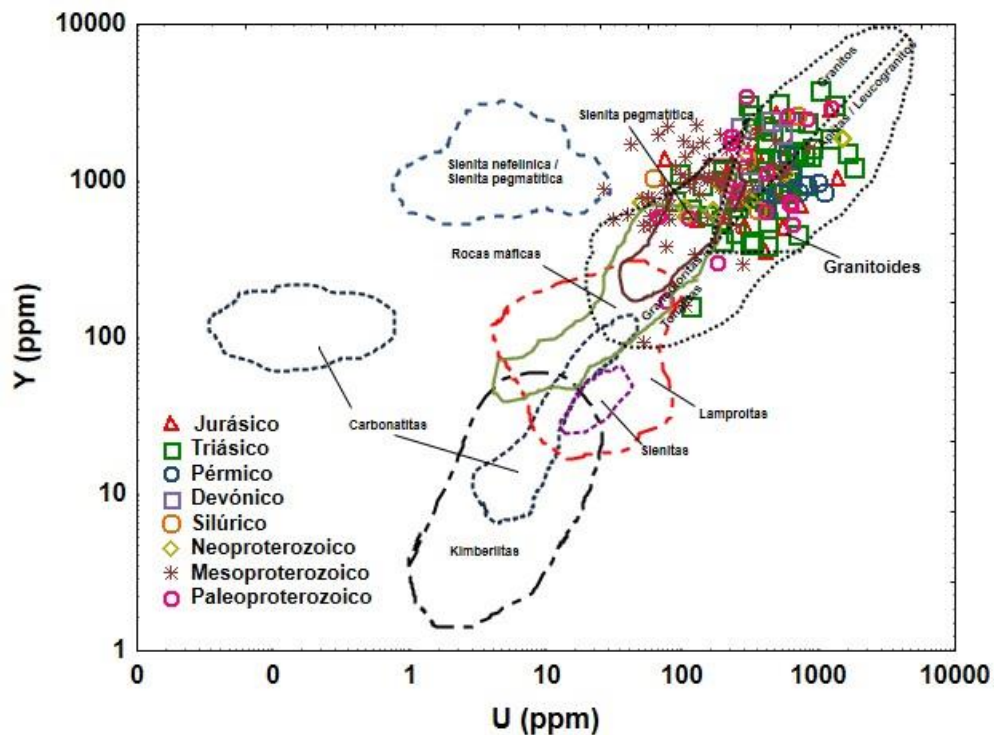


Figura 6.5 A) Diagrama de procedencia de zirrones (Y vs U) para la sección Sierra Anibacachi. Belousova *et al.*, 2002.

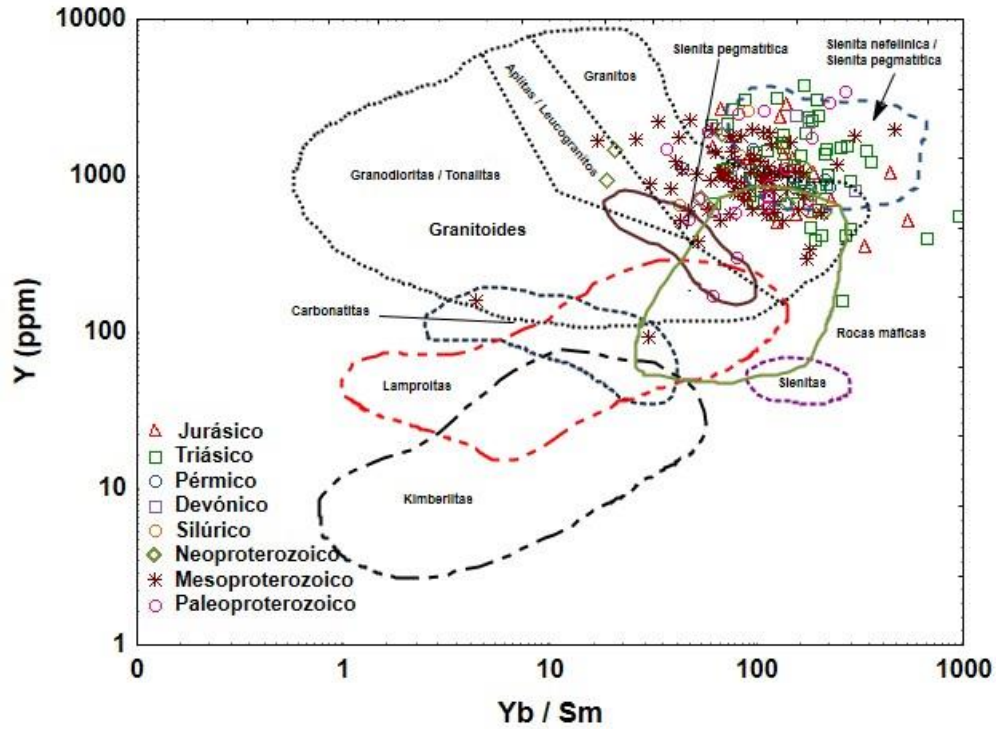


Figura 6.5 B) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs Yb/Sm) para la sección Sierra Anibacachi. Belousova et al., 2002.

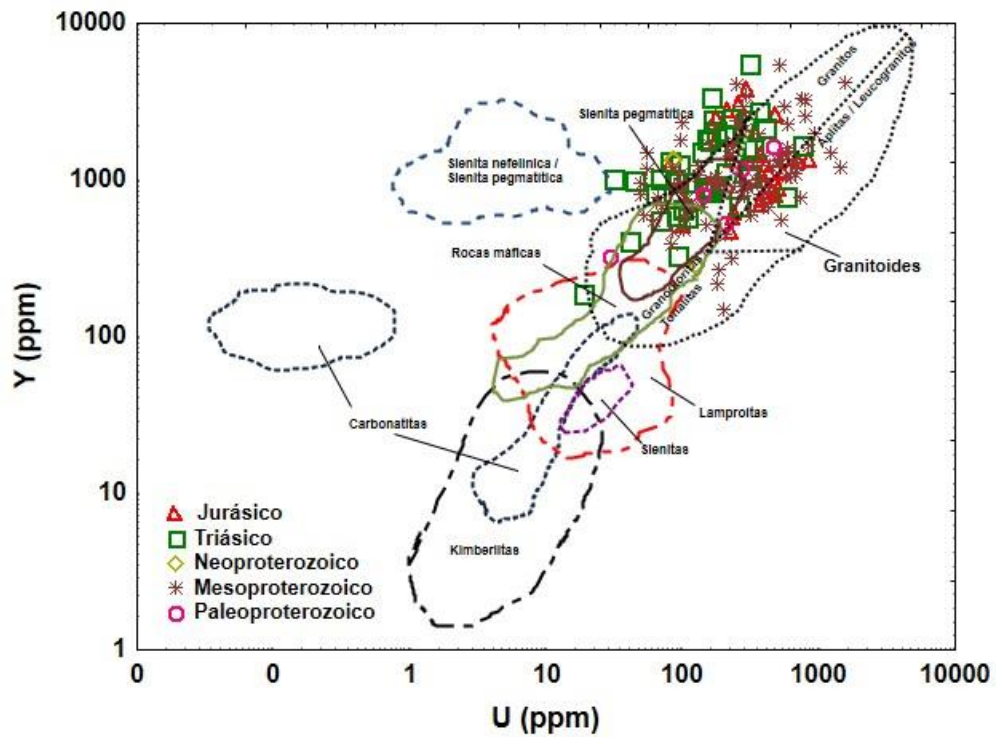


Figura 6.5 C) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs U) para la sección Rancho Búfalo. Belousova et al., 2002.

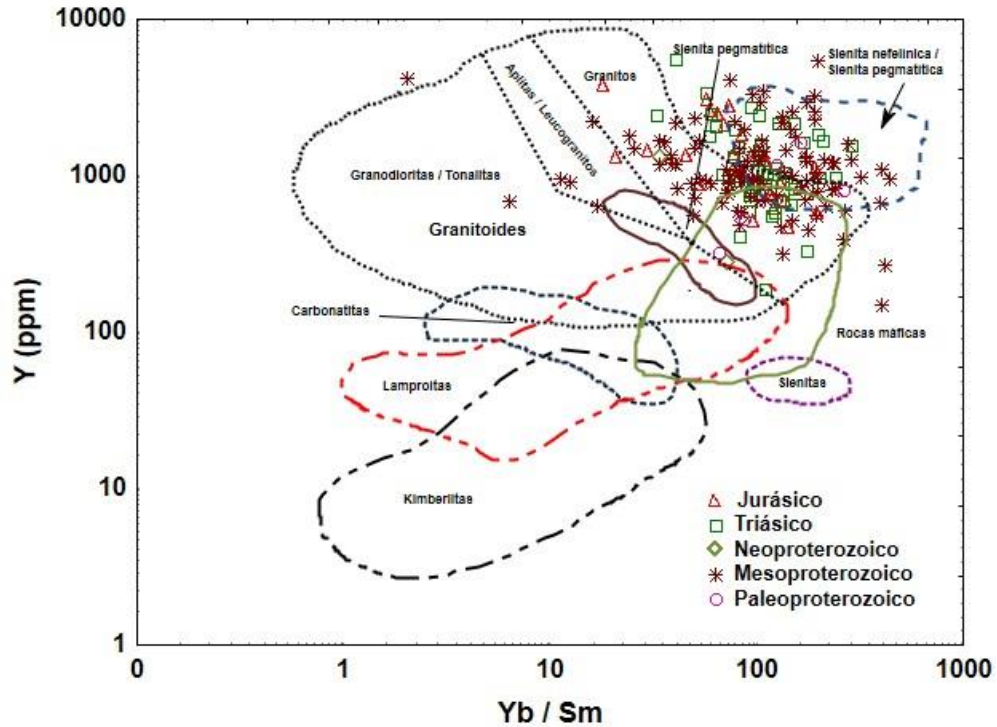


Figura 6.5 D) Diagrama de procedencia de zircones (Y vs Yb/Sm) para la sección Rancho Búfalo. Belousova et al., 2002.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

Como se mencionara anteriormente el principal objetivo de este trabajo era realizar un estudio geoquímico de las rocas siliciclásticas en dos localidades de la Formación Morita, además de abordar la investigación desde distintos campos de las ciencias geológicas, tanto petrográficamente como geocronológicamente para de esta manera comparar los resultados.

Las localidades de Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo, al noreste de Sonora, tiene espesores presentan litologías similares, compuestas por intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas, con presencia de nódulos calcáreos y capas de toba. El espesor estudiado de cada sección es de 560 y 855 m respectivamente.

Las areniscas analizadas petrográficamente para este estudio en la Formación Morita mostraron diferencias composicionales entre ambas localidades. Las areniscas de Sierra Anibacachi tienen un mayor contenido de fragmento de roca con respecto a los contenidos de feldespatos, mientras que las areniscas de Rancho Búfalo contienen cantidades similares de feldespatos y fragmentos de roca, sin embargo en algunas

muestras de esta sección los contenidos de feldespatos son mayores que los de los fragmentos líticos, el principal componente de ambas localidades es el cuarzo.

Petrográficamente la mayoría de las areniscas de la sección Sierra Anibacachi se clasifican como litarenita feldespáticas, algunas muestras como litarenita y una muestra como sublitarenita; mientras que las areniscas de Rancho Búfalo se clasifican como arcosa lítica y litarenita feldespática en proporciones similares. Adicionalmente, el origen tectónico para las areniscas de ambas localidades utilizando los contenidos de cuarzo total (Q_t) fue similar para ambas muestras, señalando el campo de orógeno reciclado; por otra parte, utilizando solo los valores de cuarzo monocristalino (Q_m), se tuvo una diferenciación entre ambas localidades, las muestras de Sierra Anibacachi señalaron el campo de cuarzoso reciclado, mientras que las de Rancho Búfalo se encuentran en el campo de "mixto".

Las rocas de ambas localidades fueron clasificadas por medio de su composición geoquímica, utilizando los valores de $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ contra $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ para el diagrama de Herron (1988). Para Sierra Anibacachi las muestras de lutita caen en el campo de lutita y wacka, las muestras de limolita se encuentran en los campos de arcosa y litarenita, mientras que las areniscas caen en los campos de sublitarenita y mayormente subarcosa, es probable que la diferencia entre la clasificación petrográfica y geoquímica se deba a los altos contenidos de fragmentos líticos volcánicos, los cuales contienen pequeños cristales de feldespatos que influyen en la química de la roca. Por otro lado, para Rancho Búfalo las limolitas son clasificadas como arena rica en Fe, mientras que las areniscas son clasificadas como litarenita, sublitarenita e incluso algunas como arena rica en Fe, esto probablemente se deba a la similitud entre los contenidos de fragmentos de roca y feldespatos así como también a los contenidos de Fe_2O_3 por la presencia de minerales óxidos de hierro.

Valores de ICV (índice de variabilidad composicional por sus siglas en inglés) de las muestras de Sierra Anibacachi presentaron rangos de 0.71 a 2.44 para lutita, 1.94 a 3.16 para limolita y 0.24 a 3.73 para arenisca; para Rancho Búfalo los valores obtenidos fueron de 0.73 a 1.23 para limolita y 0.49 a 2.42 para arenisca. Los valores de ICV mayor a 1 indican la presencia de menos minerales de arcilla y más minerales formadores de roca como Plagioclasa, feldespato potásico, anfíboles, piroxenos y líticos.

Las concentraciones de ΣREE varían entre las muestras de distintas litologías para Sierra Anibacachi (arenisca: 20.3–106.4 ppm, 61 ± 26 ; limolita: 90.9–180.5 ppm, 114 ± 28 ; lutita: 122.9–196 ppm, 152 ± 24); de igual forma, las muestras de Rancho Búfalo también presentan variaciones en concentraciones de ΣREE (arenisca: 28.9–162.1 ppm, 78 ± 37 , $n=24$; limolita: 56.7–142.0, 102 ± 43). Los contenidos de ΣREE de ambas secciones son correlacionados positivamente con Al_2O_3 , sugiriendo que los contenidos de ΣREE en estas muestras están controlados principalmente por los minerales de arcilla.

En ambas localidades los patrones de los elementos tierras raras (REE) normalizadas con condrita señalan un enriquecimiento en tierras raras ligeras, un plano en tierras raras pesadas y anomalías negativas de Eu. Sin embargo, algunas areniscas presentan anomalía positiva de Eu, esta anomalía positiva se encuentra presente en una mayor cantidad de muestras de Rancho Búfalo en comparación con Sierra Anibacachi. Es probable que esta anomalía positiva se deba a la presencia de plagioclasas, lo cual coincide con lo observado en el análisis petrográfico.

Las variaciones del índice químico de alteración (CIA) para las areniscas de Sierra Anibacachi (40-88) son mayores que en las limolitas y lutitas de esta localidad (56–75, 57–75, respectivamente). De igual manera, las areniscas de Rancho Búfalo presentan mayores variaciones (44-78, además de 91 para una muestra) que las limolitas (50-69). Estos valores son consistentes con los del índice de alteración de plagioclasas (PIA). Estas amplias variaciones indican que la región fuente tuvo un intemperismo químico de bajo a intenso para Sierra Anibacachi y bajo a moderado para Rancho Bufalo.

En el diagrama ternario A-CN-K algunas areniscas, limolitas y pocas lutitas de Sierra Anibacachi forman una tendencia lineal paralela al eje A-CN, mientras el resto de las lutitas y pocas areniscas se encuentran paralelas al plano A-K; una gran parte de estas muestras se grafica cercana a la línea de unión de feldespatos, lo que indica un gran aporte de las zonas III y IV, donde estos sedimentos provienen de las zonas menos intemperizadas, con buen aporte de fragmentos de roca y feldespatos, algunas muestras de areniscas se encuentran en la zona II, la cual está representada por abundancia de cuarzo, poco feldespato y abundante mineral de arcilla. Las areniscas y limolitas de Rancho Bufalo presentan una tendencia lineal paralela al eje A-CN, además la mayoría de areniscas y limolitas se encuentran cercanas a la línea de feldespatos y por debajo de esta, indicando que provienen de las zonas III y IV las cuales están representadas por sedimentos poco intemperizados químicamente, con presencia de feldespatos y fragmentos de roca. Los resultados obtenidos concuerdan con lo registrado en el estudio petrográfico, donde ambas localidades presentan contenidos de fragmento de roca, y donde las rocas de Rancho Bufalo presentan mayor contenido de feldespatos de que las de Sierra Anibacachi.

Altos cocientes en la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en las areniscas, limolita y lutitas de Sierra Anibacachi (19.2 ± 8.9 , 7.8 ± 0.9 , 4.3 ± 0.6 ; respectivamente), así como para las areniscas y limolitas de Rancho Búfalo (16.4 ± 6 , 8.1 ± 0.7 ; respectivamente) sugieren que los sedimentos fueron derivados de rocas de origen ácido. Esta interpretación también está apoyada por las gráficas bivariantes La/Th vs Hf, Co/Th vs La/Sc, las cuales indican que fueron derivadas de rocas de composición félsica. Adicionalmente, un diagrama ternario La-Th-Sc, los patrones de REE normalizados con condrita y su anomalía de Eu, ciertas relaciones elementales (La/Sc, La/Co, Th/Sc, Th/Co, Cr/Th, $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{cn}}$ y Eu/Eu*), además de las concentraciones de ciertos elementos (Cr, Ni, Co y V), sugieren que las rocas siliciclásticas de ambas localidades fueron derivadas de rocas de composición félsica.

Además, mediante el uso de funciones discriminantes de óxidos mayores para interpretar las características de la roca fuente, la mayoría de las areniscas, limolitas y lutitas de Sierra Anibacachi caen en los campos de cuarzoso y félsico, mientras que pocas muestras caen en el campo de rocas intermedias; de forma similar, la mayoría de areniscas y limolitas de Rancho Búfalo caen dentro del campo cuarzoso, sin embargo pocas areniscas y una limolita caen en el campo de félsico. Los resultados muestran que los óxidos mayores estudiados de la Formación Morita son consistentes con una fuente félsica y un origen reciclado.

Por otro lado, en los diagramas Al_2O_3/SiO_2 vs Fe_2O_3+MgO y TiO_2 vs Fe_2O_3+MgO , las areniscas de Sierra Anibacachi caen en el campo de margen pasivo, las limolitas en el campo de margen continental activo y las lutitas en el campo de arco de islas continental; por otro lado, en Rancho Búfalo las areniscas se encuentran en el campo de margen pasivo, sin embargo las limolitas se encuentran dispersas sin mostrar preferencia hacia algún campo. En el diagrama de SiO_2 vs K_2O/Na_2O las areniscas, limolitas y lutitas de Sierra Anibacachi caen en los campos de margen pasivo continental y margen activo continental; mientras que la mayoría de las areniscas y limolitas de Rancho Búfalo caen en el campo de margen activo continental y pocas muestras se grafican en el campo de margen continental pasivo. Además, en el diagrama La/Y vs Sc/Cr la mayoría de las areniscas de Sierra Anibacachi caen alrededor del campo de margen pasivo, mientras que las limolitas y lutitas se grafican en los campos de arco continental y arco de islas oceánicas; mientras que las muestras de arenisca de la sección Rancho Búfalo caen en los campos de margen pasivo continental, arco continental y arco de islas oceánicas.

Los resultados obtenidos en el diagrama de funciones discriminantes de óxidos mayores para interpretar marcos tectónicos, muestran a las areniscas de Sierra Anibacachi en los campos de arco, colisión y rift, mientras las limolitas caen en los campos de rift y colisión, sin embargo la mayoría de las muestras se concentran en el campo de colisión. En cambio, la mayoría de las muestras de Rancho Búfalo se concentran en el campo de arco y unas pocas en el campo de colisión. Estos resultados son consistentes con la evolución tectónica regional del área de estudio y sugiere que las rocas siliciclásticas colectadas de la sección Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo recibieron sedimentos en distintas proporciones de rocas de diferentes marcos tectónicos, las cuales se encuentra aflorando regionalmente en el oeste, norte y centro de Sonora, sur y sureste de Arizona, oeste y centro de Texas, así como en el noreste de México.

La geocronología por U-Pb en zircón detrítico de las areniscas de la Formación Morita de las localidades Sierra Anibacachi y Rancho Búfalo muestra cuatro grupos principales de poblaciones de edades en zircón detrítico: (1) Proterozoico; (2) Paleozoico; (3) Triásico y (4) Jurásico. Algunos granos del Arqueano son raros, sin embargo se encuentran presentes en una muestra de cada localidad.

Los granos con edades entre 1.7 a 1.8 Ga fueron principalmente derivados de los granitoides del bloque Caborca. Además, zircons detríticos ligeramente más jóvenes con edades de entre 1.6 a 1.7 Ga provienen de las rocas metamórficas que conforman al Esquisto Pinal. Zircons con edades de 1.4 Ga probablemente fueran aportados por los granitoides que se encuentran intrusionando al bloque Caborca y bloque de Norteamérica, entre los cuales se tiene al Granito Mesteñas, que intrusiona a las rocas del Esquisto Pinal. Los zircons con edades entre 1.0 y 1.2 Ga pueden provenir de los granitoides del cinturón Grenvilliano en el bloque Caborca expuestos en Quitovac, así como de rocas con edades similares en el oeste y centro de Texas.

Zircons del Paleozoico fueron probablemente transportados desde unidades sedimentarias ubicadas en el norte central y noreste de Sonora, dentro de las cuales se encuentran las formaciones informales Lily y Basómari del Jurásico.

Es probable que los zircons del permo-Triásico se deriven del arco de edad similar ubicado al noreste de México, cercano a los estados de Chihuahua y Coahuila, el cual incluye principalmente intrusivos graníticos y rocas Riolíticas. Otra probable fuente de estos zircons son las rocas graníticas de la Sierra Los Tanques al noroeste del estado de Sonora.

Por otro lado, los zircons jurásicos provienen de las rocas volcánicas e intrusivos jurásicos (Arco Jurásico/Alto Cananea) ampliamente distribuidos en el centro norte de Sonora, y sur centro suroeste de Arizona.

Un grano de zircón de 120 Ma fue obtenido de una muestra tomada en la cima de Formación Morita, con lo cual es posible estimar esta edad como la probable máxima edad de depositación para la Formación Morita en el área de estudio. Además, Sánchez-Medrano (2016), reporta una edad máxima de 126 Ma para la base de la Formación Morita en una sección cercana al área de estudio, por lo tanto se estima un periodo aproximado de 6 Ma como el tiempo de depósito de la Formación Morita.

Las principales poblaciones de zircons están dadas por grupos con edades del Proterozoico, después por el grupo del Triásico y posteriormente el grupo de edades del Jurásico. Estos datos son concordantes con los resultados obtenidos en el modelo por funciones discriminantes para marco tectónico, donde la mayoría de las muestras se encuentran en los campos de colisión y arco.

Basados en los resultados mencionados anteriormente, se realizó un modelo con el fin de restringir las rocas fuentes y concluir un estimado de aporte de las mismas. Utilizando patrones de REE normalizados a partir de valores publicados para los granitoides del bloque Caborca, los granitos permo-Triásico del noroeste de Sonora, rocas volcánicas félsicas Mesozoicas-Cenozoicas, además de valores obtenidos en este trabajo para el Granito Mesteñas y el Esquisto Pinal, así como los valores de REE en las rocas siliciclásticas estudiadas, se concluyó que las rocas siliciclásticas de Sierra Anibacachi

están representados por una mezcla de 40% granito permo-Triásico, 10% Granitoides del bloque Caborca, 10% roca volcánica félsica Mesozoica-Cenozoica, 20% Esquisto Pinal y 20% Granito Mesteñas; sin embargo, la composición promedio de las rocas siliciclásticas de Rancho Búfalo está representadas por una mezcla de 15% granito permo-Triásico, 40% Granitoides del bloque Caborca, 35% roca volcánica félsica Mesozoica-Cenozoica, 5% Esquisto Pinal y 5% Granito Mesteñas.

REFERENCIAS CITADAS

- Absar, N., Raza, M., Roy, M., Naqvi, S.M., Roy, A.K., 2009, Composition and weathering conditions of Paleoproterozoic upper crust of Bundelkhand craton, Central India: records from geochemistry of clastic sediments of 1.9 Ga Gwalior Group: *Precambrian Research*, 168, 313–329.
- Agrawal, S., Verma, S.P., 2007, Comment on “Tectonic classification of basalts with classification trees” by Pieter Vermeesch (2006): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 3388–3390.
- Aguilera, J.G., 1888, Estudio de los fenómenos sísmicos del 3 de mayo de 1887: *Anales del Ministerio de Fomento de la República Mexicana*, 10, 5–56.
- Ahrens, L.H., Cherry, R.D., Erlank, A.J., 1967, Observations on the Th–U relationship in zircons from granitic rocks and from kimberlites: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 29, 711–716.
- Al-Juboury, A.I., Al-Hadidy, A.H., 2009, Petrology and depositional evolution of the Paleozoic rocks of Iraq: *Marine and Petroleum Geology*, 26, 208–231.
- Amidon, W.H., Burbank, D.W., Gehrels, G.E., 2005, U–Pb zircon ages as a sediment mixing tracer in the Nepal Himalaya: *Earth and Planetary Sciences Letters*, 235, 244–260.
- Andersen, T., 2002, Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb : *Chemical Geology*, 192, 59–79.
- Anderson, T.H., 2005, Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation: *Chemical Geology*, 216, 249–270.
- Anderson, T.H., Nourse, J.H., 2005, Pull-apart basins at releasing bends of the sinistral Late Jurassic Mojave-Sonora fault system, in Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., Steiner, M.B. (eds.), *The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper*, 393, 97–122.
- Anderson, T.H., Shmidt, V.A., 1983, The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico Caribbean Sea region during Mesozoic time: *Geological Society of America Bulletin*, 94, 941–966.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1977, U–Pb isotope ages of granitic plutons near Cananea, Sonora: *Economic Geology*, 72, 827–836.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1978, The nature and extent of Precambrian rocks in Sonora, Mexico (abstract), in Roldán-Quintana, J., Salas, G.A. (eds.), *Resúmenes, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora: Hermosillo, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 9–10.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1979, The role of the Mojave– Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, in Anderson, T.H., Roldán- Quintana, J. (eds.), *Geology of northern Sonora: Geological Society of America Field Trip Guidebook*, 7, 59–68.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1981, An overview of Precambrian rocks in Sonora: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 5, 131–139.
- Anderson, T.H., Eells, J.L., Silver, L.T., 1979, Precambrian and Paleozoic rocks of the Caborca region, Sonora, Mexico, in Anderson, T.H., Roldán-Quintana, J. (eds.), *Geology of northern Sonora: Geological Society of America Field Trip Guidebook*, 1–22.

- Arellano, A.R.V., 1956, Relaciones del Cambriico de Caborca, especialmente con la base del Paleozoico: el Sistema Cambriico, su paleogeografía y el problema de su base symposium, 2, 509-527. Congreso Geológico Internacional, 20th, Mexico, 1956
- Armstrong-Altrin, J.S., 2009, Provenance of sands from Cazonas, Acapulco, and Bahía Kino beaches, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26, 764–782.
- Armstrong-Altrin, J.S., Verma, S.P., 2005, Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings: *Sedimentary Geology*, 177, 115–129.
- Armstrong-Altrin J.S., Lee Y.I., Verma S.P., Ramasamy S., 2004, Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting: *Journal of Sedimentary Research*, 74, 285-297.
- Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Rosalez-Hoz, L., Lee, Y.I., Balaram, V., Adriana Cruz-Martínez, A., Avila-Ramírez, G., 2013, Geochemistry of the Jurassic and Upper Cretaceous shales from the Molango Region, Hidalgo, eastern Mexico: Implications for source-area weathering, provenance, and tectonic setting: *compte rendus geosciences*, 345, 185-202.
- Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Córdoba-Saldaña, L.P., 2014, Geochemistry of sands along the San Nicolás and San Carlos beaches, Gulf of California, Mexico: implication for provenance: *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23, 533–558.
- Armstrong-Altrin, J.S., Machain-Castillo, M.L., Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Sanchez-Cabeza, J.A., Ruíz-Fernández, A.C., 2015, Provenance and depositional history of continental slope sediments in the Southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical analysis: *Continental Shelf Research*, 95, 15–26.
- Arriaga-Meléndez, H., López-Escalona, J., López-Reyes, J.E., Terán-Ortega, L.A., Castro Escarrega, J.J., Díaz-Salgado, C., Espinoza-Beltrán, C.C., Vázquez-Mendoza, R., 2008, Carta geológico-minera estado de Sonora, mapa de escala 1:500,000: Pachuca, Hidalgo, Servicio Geológico Mexicano.
- Arribas, J., Arribas, M.E., 1991, Petrographic evidence of different provenance in two aluvial fan systems (Palaeogene of the N Tajo Basin, Spain), *in* Morton, A.C, Tood, S.P., Haughton P.D.W. (eds.), *Developments in Sedimentary Provenance Studies*: Geological Society of London, Special Publication, 57, 263-271.
- Arvizu, H.E., Iriando, A., 2015, Control temporal y geología del magmatismo Permo-Triásico en Sierra Los Tanques, NW Sonora, México: Evidencia del inicio del arco magmático cordillerano en el SW de Laurencia: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67, 545-586.
- Arvizu, H.E., Iriando, A., Izaguirre, A., Chávez-Cabello, G., Kamenov, G.D., Solís-Pichardo, G., Cruz, L.S., 2009, Rocas graníticas pérmicas en la Sierra Pinta, NW de Sonora, México: Magmatismo de subducción asociado al inicio del margen continental activo del SW de Norteamérica: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26, 709-728.
- Asiedu, D.K., Suzuki, S., Nogami, K., Shibata, T., 2000, Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment: *Geochemical Journal*, 34, 155-173.
- Baioumy, H.M., Ismael, I.S., 2010, Factors controlling the compositional variations among the marine and non-marine black shales from Egypt: *International Journal of Coal Geology*, 83, 35–45.

- Barth, A.P., Wooden, J.L., 2006, Timing of magmatism following initial convergence at a passive margin, southwestern US Cordillera, and ages of lower crustal magma sources: *The Journal of Geology*, 114, 231-245.
- Barth, A.P., Wooden, J.L., 2010, Coupled elemental and isotopic analyses of polygenetic zircons from granitic rocks by ion microprobe, with implications for melt evolution and the sources of granitic magmas: *Chemical Geology*, 277, 149-159.
- Barth, A.P., Tosdal, R.M., Wooden, J.L., 1990, A petrologic comparison of Triassic plutonism in the San Gabriel and Mule Mountains, southern California: *Journal of Geophysical Research*, 95, 20075-20096.
- Barth, A.P., Tosdal, R.M., Wooden, J.L., Howard, K.A., 1997, Triassic plutonism in Southern California; southward younging of arc initiation along a truncated continental margin: *Tectonics*, 6, 290-304.
- Barth, A.P., Wooden, J.L., Coleman, D.S., 2001, SHRIMP-RG U-Pb zircon geochronology of Mesoproterozoic metamorphism and plutonism in the southwesternmost United States: *The Journal of Geology*, 109, 319-327.
- Basu, A., 1985a, Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas, in Zuffa, G.G. (ed.), *Provenance of arenites*: Dordrecht, D.Reidel, p. 1-18.
- Basu, A., 1985b, Reading provenance from detrital quartz, in Zuffa, G. G., ed., *Provenance of arenites*: Dordrecht, D. Reidel, 231-248.
- Basu, A., 2003, A perspective on quantitative provenance analysis, in Valloni, R., Basu, A. (eds.), *Quantitative Provenance Studies in Italy: Memorie Descrittive della Carta Geologica dell'Italia*, 61, 11-22.
- Belusova, E.A., Griffin, W.L., Pearson, N.J., 1998, Trace element composition and cathodoluminescence properties of southern African kimberlitic zircons: *Mineral Magazine*, 62, 355-366.
- Belusova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Fisher, N.I., 2002, Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143, 602-622.
- Belousova, E.A., Griffin, W.L., & O'reilly, S.Y., 2006, Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modelling: examples from Eastern Australian granitoids: *Journal of Petrology*, 47, 329-353.
- Bhat, M.I., Ghosh, S.K., 2001, Geochemistry of the 2.51 Ga old Rampur group pelites, western Himalayas: implications for their provenance and weathering: *Precambrian Research*, 108, 1-16.
- Bhatia, M.R., 1983, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: *Geology*, 91, 611-627.
- Bhatia, M.R., 1985, Rare earth element geochemistry of Australian Palaeozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control: *Sedimentary Geology*, 45, 97-113.
- Bhatia, M.R., Crook, K.A.W., 1986, Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 181-193.

- Bhuiyan, M.A.H., Rahman, M.J.J., Dampare, S.B., Suzuki, S., 2011, Provenance, tectonics and source weathering of modern fluvial sediments of the Brahmaputra–Jamuna River, Bangladesh: inference from geochemistry: *Journal of Geochemical Exploration*, 111, 113-137.
- Bilodeau, W.L., 1979, Early Cretaceous tectonics and deposition of the Glance conglomerate, southeastern Arizona: Stanford, California, Stanford University, tesis Doctoral, 145 pp.
- Bilodeau, W.L., 1982, Tectonic models for Early Cretaceous rifting in southeastern Arizona: *Geology*, 10, 466–470.
- Bilodeau, W.L., Lindberg, F.A., 1983, Early Cretaceous tectonics and sedimentation in southern Arizona, southwestern New Mexico and northern Sonora, Mexico, *in* Reynolds, M.W., Dolly, E.D. (eds.), *Mesozoic paleogeography of west-central United States: Society of Economic Paleontologist and Mineralogists*, 51-62.
- Bilodeau, W.L., Kluth, C.F., Vedder, L.K., 1987, Regional stratigraphic, sedimentologic and tectonic relationships of the Glance Conglomerate in southeastern Arizona, *in* Dickinson, W.R., Kluth, M.A. (eds.), *Mesozoic rocks of southern Arizona and adjacent areas: Arizona Geological Society Digest*, 18, 229-256.
- Bingen, B., Austrheim, H., Whitehouse, M.J., Davis, W.J., 2004, Trace element signature and U-Pb geochronology of eclogite-facies zircon, Bergen Arcs, Caledonides of W Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147, 671–683.
- Blatt, H., 1967, Original characteristics of clastic quartz grains: *Journal of Sedimentary Research*, 37, 297-310.
- Blatt H, Middleton G., Murray R., 1972, *Origin of sedimentary rocks: Englewood cliffs New Jersey*, Prentice-Hall, 634pp.
- Blatt H., Middleton G., Murray R., 1980, *Origin of Sedimentary Rocks: Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, 782pp.
- Bock, B., McLennan, S.M., Hanson, G.N., 1998, Geochemistry and provenance of the middle Ordovician Austin Glen member (Normanskill formation) and the Taconian orogeny in New England: *Sedimentology*, 45, 635-655.
- Borges, J.B., Huh, Y., Moon, S., Noh, H., 2008, Provenance and weathering control on river bed sediments of the eastern Tibetan Plateau and the Russian Far East: *Chemical Geology*, 254, 52-72.
- Breyer, J.A., Bart, H.A., 1978, The composition of fluvial sands in a temperate semiarid región: *Journal of Sedimentary Research*, 48, 1311-1320.
- Caja, M.A., Marfil, R., Lago, M., Salas, R., Ramseyer, K., 2007, Provenance discrimination of Lower Cretaceous synrift sandstones (eastern Iberian Chain, Spain): Constraints from detrital modes, heavy minerals, and geochemistry: *Geological Society of America Special Papers*, 420, 181-197.
- Caracciolo, L., Von Eynatten, H., Tolosana-Delgado, R., Critelli, S., Manetti, P., Marchev, P., 2012, Petrological, geochemical, and statistical analysis of Eocene–Oligocene sandstones of the Western Thrace Basin, Greece and Bulgaria: *Journal of Sedimentary Research*, 82, 482-498.
- Carter, A., Moss, S.J., 1999, Combined detrital zircon fission track and U–Pb dating: a new approach to understanding hinterland evolution: *Geology*, 27, 235-238.

- Chakrabarti, R., Basu, A.R., Chakrabarti, A., 2007, Trace element and Nd-isotopic evidence for sediment sources in the mid-Proterozoic Vindhyan Basin, central India: *Precambrian Research*, 159, 260-274.
- Chakrabarti, R., Basu, A.R., Paul, D.K., 2007, Nd–Hf–Sr–Pb isotopes and trace element geochemistry of Proterozoic lamproites from southern India: subducted komatiite in the source: *Chemical Geology*, 236, 291-302.
- Cherniak, D.J., Watson, E.B., 2003, Diffusion in zircon: *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53, 113-143.
- Cherniak, D.J., Hanchar, J.M., Watson, E.B., 1997, Rare-earth diffusion in zircon: *Chemical Geology*, 134, 289–301.
- Cherniak, D.J., Hanchar, J.M., Watson, E.B., 1997, Diffusion of tetravalent cations in zircon: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 127, 383-390.
- Cho, M., Na, J., Yi, K., 2010, SHRIMP U–Pb ages of detrital zircons in metasediments of the Taean Formation, western Gyeonggi massif, Korea: Tectonic implications: *Geosciences Journal*, 14, 99–109.
- Chyi, L.L., 1986, Characteristics and genesis of zirconium and hafnium deposits. In: *Mineral parageneses: Athens, Theophrastus Publications SA*, 387–408pp.
- Clairborn, L.L., Miller, C.F., Wooden, J.L., 2010, Trace element composition of igneous zircon: A thermal and compositional record of the accumulation and evolution of a large silicic batholiths, Spirit Mountain, Nevada: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160, 511-531.
- Condie, K.C., 1991, Another look at rare earth elements in shales: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 2527-2531.
- Condie, K.C., 1993, Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales: *Chemical geology*, 104, 1-37.
- Condie, K.C., DeMalas, J.P., 1985, The Pinal Schist: an early Proterozoic quartz wacke association in southeastern Arizona: *Precambrian research*, 27, 337-356.
- Condie, K.C., Noll, P.D., Conway, C.M., 1992, Geochemical and detrital mode evidence for two sources of Early Proterozoic sedimentary rocks from the Tonto Basin Supergroup, central Arizona: *Sedimentary Geology*, 77, 51-76.
- Condie, K.C., Lee, D., Farmer, G.L., 2001, Tectonic setting and provenance of the eoproterozoic Uinta Mountain and Big Cottonwood Groups northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes: *Sedimentary Geology*, 141-142, 443-464.
- Condie, K.C., Belousova, E., Griffin, W.L., Sircombe, K.N., 2009, Granitoid events in space and time: constraints from igneous and detrital zircon age spectra: *Gondwana Research*, 15, 228-242.
- Cox, R., Lowe, D.R., 1995, A conceptual review of regional scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover: *Journal of Sedimentary Research*, 65, 1-12.
- Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R.L., 1995, The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 2919-2940.

- Crook, K.A.W., 1974, Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (graywackes), *in* Dott R.H., Shaver, R.H. (eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation: SEPM Special Publication*, 19, 304 – 310.
- Culler, R.L., 1994a, The chemical signature of source rocks in size fraction of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, USA: *Chemical Geology*, 113, 327-343.
- Culler, R.L., 1994b, The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 4955- 4972.
- Cullers, R.L., 1995, The controls on the major and trace element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountain region, Colorado, USA: *Chemical Geology*, 123, 107-131.
- Cullers, R.L., 2000, The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian - Permian age, Colorado, U.S.A. Implications for provenance and metamorphic studies: *Lithos*, 51, 181-203.
- Culler, R.L., 2002, Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA: *Chemical Geology*, 191, 305-327.
- Cullers, R.L., Berendsen, P., 1998, The provenance and chemical variation of sandstones associated with the mid-continent rift system, USA: *European Journal of Mineralogy*, 10, 987-1002.
- Cullers, R.L., Podkovyrov, V.N., 2000, Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control, and recycling: *Precambrian Research*, 104, 77–93.
- Cullers, R.L., Stone, J., 1991, Chemical and mineralogical comparison of the Pennsylvanian Mountain, Colorado, U.S.A. (an uplifted continental block) to sedimentary rocks from other tectonic environments: *Lithos*, 27, 115-131.
- Cullers, R.L., Barrett, T., Carlson, R., Robinson, B., 1987, Rare earth element and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment: a case study in the Wet Mountains, Colorado, USA: *Chemical Geology*, 63, 275-297.
- Cullers, R.L., Basu, A., Suttner, L., 1988, Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA: *Chemical Geology*, 70, 335-348.
- Dabard, M.P., Loi, A., Peucat, J.J., 1996, Zircon typology combined with Sm • Nd whole-rock isotope analysis to study Brioverian sediments from the Armorican Massif: *Sedimentary Geology*, 101, 243-260.
- DaPeng, L., YueLong, C., Zhong, W., Yu, L., Jian, Z., 2012, Paleozoic sedimentary record of the Xing-Meng Orogenic Belt, Inner Mongolia: implications for the provenances and tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt: *Chinese Sciences Bulletin*, 57, 776–785.
- Das, B.K., Haake, B.G., 2003, Geochemistry of Rewalsar Lake sediment, Lesser Himalaya, India: implications for source-area weathering, provenance and tectonic setting: *Geosciences Journal*, 7, 299-312.

- Davis, D.W., Williams, I.S., Krogh, T.E., 2003, Historical development of U-Pb geochronology, *in* Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. (eds.), *Zircons: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, 145–131.
- de Cserna, Z., 1971, Precambrian sedimentation, tectonics, and magmatism in Mexico: *Geologische Rundschau*, 60, 1488-1513.
- Dickinson, W.R., 1970, Interpreting detrital modes of graywacke and arkose: *Journal of Sedimentary Research*, 40, 695-707.
- Dickinson, W.R., 1981, Plate tectonics and the continental margin of California, *in* Ernst, W.G. (ed.), *The geotectonic development of California: New Jersey, Englewood Cliffs, Prentice-Hall*, 1-28.
- Dickinson, W.R., Gehrels, G.E., 2003, U–Pb ages of detrital zircons from Permian and Jurassic eolian sandstones of the Colorado Plateau, USA: paleogeographic implications: *Sedimentary Geology*, 163, 29–66.
- Dickinson, W.R., Lawton, T.F., 2001, Tectonic setting and sandstone petrofacies of the Bisbee Basin (USA-Mexico): *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 475–504.
- Dickinson, W.R., Suczek, C.A., 1979, Plate tectonics and sandstone compositions: *Aapg Bulletin*, 63, 2164-2182.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., Ryberg, P.T., 1983, Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting: *Geological Society of America Bulletin*, 94, 222- 235.
- Dickinson, W.R., Klute, M.A., Swift, P.N., 1986, The Bisbee basin and it's bearing on late Mesozoic paleogeographic and paleotectonic relations between the cordilleran and Caribbean regions, *in* Abbott, P.L. (ed.), *Cretaceous Stratigraphy of Western North America: SEPM, Field-Trip Guidebook Pacific Section*, 51-62.
- Dickinson, W.R., Fiorillo, A.R., Hall, D.L., Monreal-Saavedra, R., Potochnik, A.R. Swift, P.N., 1989, Cretaceous strata of southern Arizona, *in* Janney, J.P., Reynolds, S.J. (eds.), *Geological Evolution of Arizona: Arizona Geological Society Digest*, 17, 447-461.
- Diez Fernández, R., Martínez Catalán, J.R., Gerdes, A., Abati, J., Arenas, R., Fernández- Suárez, J., 2010, U–Pb ages of detrital zircons from the Basal allochthonous units of NW Iberia: Provenance and paleoposition on the northern margin of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic: *Gondwana Research*, 18, 385-399.
- Dumble, E.T., 1902, Notes of geology of southeastern Arizona: *American Institute of Mining Engineer Transaction*, 31, 696-715.
- Duplay, J., Semhi, K., Mey, M., Messina, A., Quaranta, G., Huber, F., Aubert, A., 2014, Geogenic versus anthropogenic geochemical influence on trace elements contents in soils from the Milazzo Peninsula: *Chemie der Erde-Geochemistry*, 74, 691-704.
- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Armstrong-Altrin, J.S., 2011, Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidence for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-ebadam block, Central Iran: *Journal of African Earth Sciences*, 61, 142–159.
- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Adabi, M.H., Sadeghi, A., Houshmandzadeh, A., 2015, Provenance of Neoproterozoic sedimentary basement of northern Iran, Kahar Formation: *Journal of African Earth Sciences*, 111, 54-75.

- Farmer, G.L., 2003, Continental basaltic rocks, *in* Rudnick, R.L. (ed.), *The Crust: Treatise on Geochemistry*, 3, 85-122.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1995, Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosoils, with implications for paleoweathering conditions and provenance: *Geology*, 23, 921-924.
- Fedo, C.M., Eriksson, K., Krogstad, E.J., 1996, Geochemistry of shale from the Archaean (~ 3.0 Ga) Buhwa Greenstone belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source area weathering: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 1751-1763.
- Fedo, C.M., Young, G.M., Nesbitt, H.W., Hanchar, J.M., 1997, Potassic and sodic metasomatism in the southern province of the Canadian Shield: evidence from the Paleoproterozoic Serpent Formation, Huronian Supergroup, Canada: *Precambrian Research*, 84, 17-36.
- Fedo, C.M., Sircombe, K.N., Rainbird, R.H., 2003, Detrital zircon analysis of the sedimentary record: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, 277-303.
- Feng, R., Kerrich, R., 1990, Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: implications for provenance and tectonic setting: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 1061-1081.
- Floyd, P.A., Leveridge, B.E., 1987, Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones: *Journal of the Geological Society*, 144, 531-542.
- Floyd, P.A., Winchester, J.A., Park, R.G., 1989, Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, N.W. Scotland: *Precambrian Research*, 45, 203-214.
- Floyd, P.A., Franke, W., Shall, R., Dorr, W., 1990, Provenance and depositional environment of Rhenohercynian synorogenic greywacke from the Giessen nappe, Germany: *Geologische Rundschau*, 79, 611-626.
- Folk, R.L., 1974, The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity: *Journal of Sedimentary Research*, 44, 40-53.
- Franzinelli, E., Potter, P.E., 1983, Petrology, chemistry, and texture of modern river sands, Amazon River system: *The Journal of Geology*, 91, 23-39.
- Gabo, J.A.S., Dimalanta, C.B., Asio, M.G.S., Queaño, K.L., Yumul, G.P., Imai, A., 2009, Geology and geochemistry of the clastic sequences from Northwestern Panay (Philippines): implications for provenance and geotectonic setting: *Tectonophysics*, 479, 111-119.
- Garcia, D., Fontelles, M., Moutte, J., 1994, Sedimentary fractionations between Al, Ti, and Zr and the genesis of strongly peraluminous granites: *The Journal Geology*, 102, 411-422.
- García-Barragán, J.C., 2003, Stratigraphy, sedimentology and tectonic interpretation for the origin of the Late Cretaceous El Tuli Formation in northern Sonora, Mexico: El Paso, Texas, University of Texas at El Paso, disertación doctoral, 194 pp.
- García-Barragán, J.C., Jacques-Ayala, C., 2011, Estratigrafía del Cretácico de Sonora, México, *in* Calmus, T. (ed.), *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, 5, 113-199.

- Gehrels, G., 2012, Detrital zircon U-Pb geochronology: current methods and new opportunities, *in* Busby, C., Azor, A. (eds.), *Tectonics of Sedimentary Basins*: Blackwell publishing Ltd, 47–62.
- Gehrels, G.E., Stewart, J.H., 1998, Detrital zircon U-Pb geochronology of Cambrian to Triassic miogeoclinal strata of Sonora, Mexico: *Journal of Geophysical Research*, 103, 2471-2487.
- Gehrels, G., Valencia, V., Pullen, A., 2006, Detrital zircon geochronology by laser ablation multicollector ICPMS at the Arizona LaserChron Center, *in* Olszewski, T. (ed.), *Geochronology: Emerging opportunities*: Paleontology Society Papers, 14, 67–76.
- Gehrels, G., Valencia, V., Ruiz, J., 2008, Enhanced precision, accuracy, efficiency, and spatial resolution of U–Pb ages by laser ablation–multicollector–inductively coupled plasma– mass spectrometry: *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 9, 3-17.
- Getaneh, W., 2002, Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia: *Journal of African Earth Sciences*, 35, 185-198.
- Ghosh, S., Sarkar, S., Ghosh, P., 2012, Petrography and major element geochemistry of the Permo-Triassic sandstones, central India: implications for provenance in an intracratonic pull-apart basin: *Journal Asian of Earth Sciences*, 43, 207–240.
- Gibbs, A.K., Montgomery, D.W., O'Day, P.A., Ersler, E.A., 1986, The Archean-Proterozoic transition: evidence from geochemistry of metasedimentary rocks of Guyana and Montana: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50, 2125-2141.
- Gilluly, J., 1937, Geology and ore deposits of the Ajo quadrangle Arizona: Arizona State Bureau of Mines Bulletin, 141, 83.
- Gilluly, J., Cooper, J.R., Steele, W.J., 1954, Late Paleozoic stratigraphy of central Cochise County, Arizona. US: Geological Survey Profesional Paper, 266, 49pp.
- Glazner, A.F., Coleman, D.S., Bartley, J.M., 2008, The tenuous connection between high-silica rhyolites and granodiorite plutons: *Geology*, 36, 183–186.
- Goëtze, J., 1998, Geochemistry and provenance of the Altendorf feldspathic sandstone in the Middle Bunter of the Thuringian basin (Germany): *Chemical Geology*, 150, 43-61.
- González-León, C.M., 1994, Early Cretaceous tectono- sedimentary evolution of the southwestern margin of the Bisbee basin: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11, 139-146.
- González -León, C.M., 2010, Evolución geológica y disposición del paisaje actual, *in* Molina-Freaner F.E., Van Devender, T.R. (eds.), *Diversidad biológica de Sonora*: Universidad Nacional Autónoma de México, 19–49.
- González-León, C.M., Jacques-Ayala, C., 1990, Paleogeografía del Cretácico Inferior en Sonora, *in* Meinburg, P. (ed.), *Contribuciones al Cretácico de México y América Central*, Universidad Autónoma de Nuevo León: Facultad de Ciencias de la Tierra Actas, 4, 125-152.
- González-León, C.M., Lawton, T., 1995, Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona Basin, northeastern Sonora, *in* Jacques-Ayala, César; González-León, C.M.; Roldán-Quintana, J. (eds.), *Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas*: Geological Society of America Special Paper, 301, 121–142.
- González-León, C.M., Stanley, G.D., Jr., Gehrels, G.E., Centeno-García, E., 2005, New data on the lithostratigraphy, detrital zircon and Nd isotope provenance, and paleogeographic setting of the El

- Antimonio Group, Sonora, Mexico, *in* Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.E., Steiner, M.B. (eds.), *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper, 393, 259-282.
- González-León, C.M., Scott, R.W., Löser, H., Lawton, T.F., Robert, E., Valencia, V.A., 2008, Upper Aptian- Lower Albian Mural Formation: Stratigraphy, biostratigraphy and depositional cycles on the Sonoran shelf, northern México: *Cretaceous Research*, 29, 249-266.
- González-León, C.M., Valencia, V.A., Lawton, T.F., Amato, J.M., Gehrels, G.E., Leggett, W.J., Fernández, M.A., 2009, The Lower Mesozoic record of detrital zircon U-Pb geochronology of Sonora, Mexico and its paleogeographic implications: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26, 301-314.
- Grijalva–Noriega, J., 1994, *Estratigrafía y sedimentología de la Formación Cintura del área de San Marcos, noreste de Sonora México*: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis de maestría, 89 pp.
- Grijalva-Noriega, F.J., 1995, El Alto de Cananea: un elemento paleogeográfico del Jurásico Tardío: *Boletín Departamento de Geología, Uni-Son*, 12, 1-16.
- Grijalva–Noriega, J., 1996, Cintura Formation – an Early Cretaceous deltaic system in Northeastern Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13, 129–139.
- Govindaraju, K., 1994, compilation of working values and sample descriptions for 383 geostandards: *Geostandards Newsletter Special Issue*, 18, 1–158.
- Grimes, C.B., John, B.E., Kelemen, P.B., Mazdab, F.K., Wooden, J.L., Cheadle, M.J., Schwartz, J.J., 2007, Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance: *Geology*, 35, 643-646.
- Gross, L.E., Stewart, J.H., Gehrels, G.E., 2000, Detrital zircon geochronology of Neoproterozoic to Middle Cambrian miogeoclinal and platformal strata: Northwest Sonora, Mexico: *Geofísica Internacional*, 39, 295-308.
- Gu, X.X., Liu, J.M., Zheng, M.H., Tang, J.X., Qi, L., 2002, Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: geochemical evidence: *Journal of sedimentary Research*, 72, 393-407.
- Guo, C.L., Mao, J.W., Bierlein, B., Chen, Z.H., Chen, Y.C., Li, C.B., Zeng, Z.L., 2011, SHRIMP U–Pb (zircon), Ar–Ar (muscovite) and Re–Os (molybdenite) isotopic dating of the Taoxikeng tungsten deposit, South China Block: *Ore Geology Reviews*, 43, 26–39.
- Guo, X., Yan, Z., Wang, Z., Wang, T., Hou, K., Fu, C., Li, J., 2012, Middle Triassic arc magmatism along the northeastern margin of the Tibet: U–Pb and Lu–Hf zircon characterization of the Gangcha complex in the West Qinling terrane, central China: *Journal of the Geological Society*, 169, 327-336.
- Haenggi, W.T., 2002, Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part II: Mesozoic and Cenozoic: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 55, 38-94.
- Hara, H., Kunii, M., Hisada, K. I., Ueno, K., Kamata, Y., Srichan, W., Kurihara, T., 2012, Petrography and geochemistry of clastic rocks within the Inthanon zone, northern Thailand: Implications for Paleo-Tethys subduction and convergence: *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 2-15.

- Harnois, L., 1988, The CIW index: A new chemical index of weathering: *Sedimentary Geology*, 55, 319-322.
- Haxel, G.B., Anderson, T.H., Briskey, J.A., Tosdal, R.M., Wright, J.E., May, D.J., 2008, Late Jurassic igneous rocks in south-central Arizona and north-central Sonora: Magmatic accompaniment of crustal extension. *in* Spencer, J.E., Titley, S.R. (eds.), *Ores and Orogenesis: Circum-Pacific Tectonics, Geologic Evolution, and Ore Deposits: Arizona Geological Society Digest*, 2, 33-355.
- Hayashi, K.I., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H., 1997, Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 4115-4137.
- Hayes, P.T., 1970: Cretaceous paleogeography of southeastern Arizona and adjacent areas: Washington DC: US Geological Survey Professional Paper, 658, 42.
- Heaman, L.M., Bowins, R., Crocket, J., 1990, The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 1597-1607.
- Hegde, V.S., Chavadi, V.C., 2009, Geochemistry of late Archaean metagreywackes from the Western Dharwar Craton, South India: implications for provenance and nature of the Late Archaean crust: *Gondwana Research*, 15, 178-187.
- Herron, M.M., 1988, Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data: *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 820-829.
- Hinton, R.W., Upton, B.G.J., 1991, The chemistry of zircon: variations within and between large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 3287–3302.
- Hoskin, P.W.O., Black, L.P., 2000, Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallisation of protolith igneous zircon: *Journal of Metamorphic Geology*, 18, 423-439.
- Hoskin, P.W.O., Ireland, T.R., 2000, Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator: *Geology*, 28, 527–630.
- Hoskin, P.W.O., Schaltegger, U., 2003, The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis, *in* Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. (eds.), *Zircon: reviews in mineralogy and geochemistry*, 53, 27–62.
- Huntsman-Mapilaa, P., Kampunzuc, A.B., Vinkc, B., Ringrosea, S., 2005, Cryptic indicators of provenance from the geochemistry of the Okavango Delta sediments, Botswana: *Sedimentary Geology*, 174, 123–148.
- Imlay, R.W., 1939, Paleogeographic studies in northeastern Sonora: *Geological Society of America Bulletin*, 50, 1723-1744.
- Ingersoll, R.V., Bulard, T.F., Ford, R.L., Grimn, J.P., Pickle, J.P., Sares, S.W., 1984, The effect of grain size on detrital modes: a text of the Gazzi-Dickinson Point Counting method: *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 103–116.
- Ireland, T.R., Wlotzka, F., 1992, The oldest zircons in the solar system: *Earth and Planetary Science Letters*, 109, 1-10.
- Ireland, T.R., Flöttmann, T., Fanning, C.M., Gibson, G.M., Preiss, W.V., 1998, Development of the early Paleozoic Pacific margin of Gondwana from detrital-zircon ages across the Delamerian orogen: *Geology*, 26, 243-246.

- Iriondo, A., Premo, W.R., 2011, Las rocas cristalinas proterozoicas de Sonora y su importancia para la reconstrucción del margen continental SW de Laurentia— La pieza mexicana del rompecabezas de Rodinia, *in* Calmus, T. (ed.), *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, 118, 2, 25–55.
- Iriondo, A., Premo, W.R., Martínez-Torres, L.M., Budahn, J.R., Atkinson, W.W.J., Siems, D.F., Guaras-Gonzalez, B., 2004. Isotopic, geochemical, and temporal characterization of Proterozoic basement rocks in the Quitovac región, northwestern Sonora, Mexico: Implications for the reconstruction of the southwestern margin of Laurentia. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 116, 154-170.
- Jacobson, C.E., Grove, M., Pedrick, J.N., Barth, A.P., Marsaglia, K.M., Gehrels, G.E., Nourse, J.A., 2011, Late Cretaceous-early Cenozoic tectonic evolution of the southern California margin inferred from provenance of trench and forearc sediments: *Geological Society of America Bulletin*, 123, 485-506.
- Jacques-Ayala, C., 1989, Arroyo Sásabe Formation (Aptian-Albian), northwestern Sonora, Mexico, marginal marine sedimentation in the Sonora back-arc basin: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 8, 171-178.
- Jacques-Ayala, C., 1992, The Lower Cretaceous Glance Conglomerate and Morita Formation of the Sierra el Chanate, Northwestern Sonora: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 10, 37-43.
- Jacques-Ayala, C., 1993, The Cretaceous in the Caborca-Santa Ana region, northern Sonora, Mexico: Cincinnati, Ohio, University of Cincinnati, disertación doctoral, 146 pp.
- Jacques-Ayala, C., 1995, Paleogeography and provenance of the Lower Cretaceous Bisbee Group in the Caborca-Santa Ana area, northwestern Sonora, *in* Jacques-Ayala, C., González-León, M.C., Róldan-Quintana, J. (eds.), *Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas*: Geological Society of America, Special Paper, 301, 79-98.
- Jamison, K., 1987, Petrofacies of Morita Formation (Bisbee Group), southeastern Arizona and northern Sonora, Mexico, *in* Dickinson, W.R., Klute, M.A. (eds.), *Mesozoic rocks of southern Arizona and adjacent áreas*: Arizona Geological Society Digest, 18, 263-272.
- Jin, Z., Cao, J., Wu, J., Wang, S., 2006, A Rb/Sr record of catchment weathering response to Holocene climate change in Inner Mongolia: *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 285-291.
- Johnson, M.R., 1991, Sandstone petrography, provenance and plate tectonic setting in Gondwana context of the southeastern Cape-Karoo Basin: *South African Journal of Geology*, 94, 137-154.
- Johnsson, M.J., 1993, The system controlling the composition of clastic sediments: *Geological Society of America, Special Papers*, 284, 1-20.
- Kasanzu, C., Maboko, M.A., Many, S., 2008, Geochemistry of fine-grained clastic sedimentary rocks of the Neoproterozoic Ikorongo Group, NE Tanzania: Implications for provenance and source rock weathering: *Precambrian Research*, 164, 201-213.
- Klein, E.M., 2003, Geochemistry of the igneous oceanic crust, *in* Rudnick, R.L., (ed.), *The Crust: Treatise on Geochemistry*, 3, 433-464.
- Klitgord, K.D., Popenoe, P., Schouten, H., 1984, Florida: A Jurassic transform plate boundary: *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 89, 7753-7772.

- Klute, M.A., 1991, Sedimentology, sandstone petrofacies, and tectonic setting of the Late Mesozoic Bisbee Basin, southeastern Arizona: Tucson, Arizona, The University of Arizona, Ph.D. Thesis, 272 pp.
- Kluth, C.F., 1982, Geology and mid-Mesozoic tectonics of the northern Canelo Hills, Santa Cruz County, Arizona: Tucson, University of Arizona, Ph.D. dissertation, 245 pp.
- Kluth, C.F., Butler, R.F., Harding, L.E., Shafiqullah, M., Damon, P.E, 1982, Paleomagnetism of late Jurassic rocks in the northern Canelo Hills, southeastern Arizona: *Geophysics Research*, 87, 7079-7086.
- Kosler, J., Sylvester, P., 2003, Present trends and the future of zircon in geochronology: laser ablation ICPMS, *in* Hanchar, J.M., Hoskin, P.M.O. (eds.), *Zircon: Reviews Mineralogy and Geochemistry*, 53, 243–275.
- Lahtinen, R., 2000, Archaean–Proterozoic transition: geochemistry, provenance and tectonic setting of metasedimentary rocks in central Fennoscandian Shield, Finland: *Precambrian research*, 104, 147-174.
- Lachance, G.R., Traill, R.J., 1966, A practical solution to the matrix problem in X-ray analysis, I. Method: *Canadian Spectroscopy*, 11, 43–48.
- Lawton, T.F., González-León, C.M., Lucas, S.G., Scott, R.W., 2004, Stratigraphy and sedimentology of the upper Aptian- upper Albian Mural Limestone (Bisbee Group) in northern Sonora, México: *Cretaceous Research*, 25, 43-60.
- LeMone, D.V., Kondelin, R., McEvers, H., Madden, D., Roark, R.C., Simpson, R.D., Pickens, C.A., 1983, Paleozoic and Early Cretaceous Isopach Studies of the Southwest Border Region, *in* Clark, K.F., Goodell, P.C. (eds.), *Geology and Mineral Resources of North-Central Chihuahua: El Paso Geological Society Guidebook*.
- Li, Z., Peng, S.T., 2010, Detrital zircon geochronology and its provenance implications: responses to Jurassic through Neogene basin-range interactions along northern margins of the Tarim Basin, Northwest China: *Basin Research*, 22, 126-138.
- Longoria, J.F., Pérez-Venzor, J.A., 1979, Bosquejo geológico de los cerros Chino y Rajón, cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW de Sonora: Universidad de Sonora, Departamento de Geología, *Boletín*, 1, 119–144.
- Lucas, S., Kues, B.S., González-León, C.M., 1995, Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, northeastern Sonora, *in* Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J. (eds.), *Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas: Geological Society of America Special Paper*, 301, 143–165.
- Ludwig, K.R., 2008, *Isoplot 3.6*: Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center, Special publication, 4, 77pp.
- Ludwig, K.R., Mundil, R., 2002, Extracting reliable U-Pb ages and errors from complex populations of zircons from Phanerozoic tuffs, in 12th Goldschmidt Conference: *Geochemical et Cosmochemical Acta*, 66, 463.
- Maas, R., Kinny, P.D., Williams, I.S., Froude, D.O., Compston, W., 1992, The Earth's oldest known crust: a geochronological and geochemical study of 3900 – 4200 Ma old detrital zircon from Mt. Narryer and Jack Hill, Western Australia: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 1281 – 1300.

- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M., Valeriano, C., 1996, U- Pb geochronology of the central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny: *Precambrian Research*, 79, 347-361.
- Mack, G.H., 1984, Exceptions to the relationship between plate tectonics and sandstone composition: *Journal of Sedimentary Research*, 54.
- Mader, D., Neubauer, F., 2004, Provenance of Palaeozoic sandstones from the Carnic Alps (Austria): petrographic and geochemical indicators: *International Journal of Earth Sciences*, 93, 262-281.
- Madhavaraju, J., 2015, Geochemistry of late Cretaceous sedimentary rocks of the Cauvery Basin, south India: constraints on paleoweathering, provenance, and end Cretaceous environments: *Chemostratigraphy*, 185-214.
- Madhavaraju, J., González-León, C.M., 2012, Depositional conditions and source of rare earth elements in carbonate strata of the Aptian-Albian Mural Formation, Pitaycachi section, northeastern Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29, 478-491.
- Madhavaraju, J., Lee, Y.I., 2010, Influence of Deccan volcanism in the sedimentary rocks of Late Maastrichtian–Danian age of Cauvery basin Southeastern India: constraints from geochemistry: *Current Sciences*, 98, 528–537.
- Madhavaraju, J., Ramasamy, S., 2001, Clay mineral assemblages and rare earth element distribution in the sediments of Ariyalur Group, Tiruchirapalli District, Tamil Nadu - Implication for Paleoclimate: *Journal of the Geological Society of India*, 58, 69-77.
- Madhavaraju, J., Ramasamy, S., 2002, Petrography and geochemistry of Late Maastrichtian – Early Paleocene sediments of Tiruchirapalli Cretaceous, Tamil Nadu - Paleoweathering and provenance implications: *Journal of the Geological Society of India*, 59, 133-142.
- Madhavaraju, J., González-León, C.M., Lee, Y.I., Armstrong-Altrin, J.S., Reyes-Campero, L.M., 2010, Geochemistry of the Mural Formation (Aptian-Albian) of the Bisbee Group, Northern Sonora, México: *Cretaceous Research*, 31, 400-414.
- Madhavaraju, J., Lee, Y.I., González-León, C.M., 2013, Diagenetic significance of carbon, oxygen and strontium isotopic compositions in the Aptian-Albian Mural Formation in Cerro Pimas area, northern Sonora, Mexico: *Journal of Iberian Geology*, 39, 73-88.
- Madhavaraju, J., Ramírez-Montoya, E., Monreal, R., Gonzalez-Le on, C.M., Pi-Puig, T., Espinoza-Maldonado, I.G., Grijalva-Noriega, F.J., 2016a, Paleoclimate, paleoweathering and paleoredox conditions of Lower Cretaceous shales from the Mural Limestone, Tuape section, northern Sonora, Mexico: constraints from clay mineralogy and geochemistry: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33, 34-48.
- Madhavaraju, J., Tom, M., Lee, Y.I., Balaram, V., Ramasamy, S., Carranza-Edwards, A., Ramachandran, A., 2016b, Provenance and tectonic settings of sands from puerto pe~nasco, desemboque and bahia kino beaches, gulf of California, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 71, 262-275.
- Madhavaraju, J., Pacheco-Olivas, S.A., Gonzalez-León, C.M., Espinoza-Maldonado, I.G., Sánchez-Medrano, P.A., Villanueva-Amadoz, U., Monreal, R., Pi-Puig, T., Ramírez-Montoya, E., Grijalva-Noriega, F.J., 2017, Mineralogy and geochemistry of the Lower Cretaceous siliciclastic rocks of the Morita Formation, Sierra San José section, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 76, 397-411.

- Marvin, R.F., Naeser, C.W., Mehnert, H.H., 1978, Tabulation of radiometric ages—including unpublished K-Ar and fission track ages—for rocks in southeastern Arizona and southwestern New Mexico, *in* Callender, J.F., Wilt, J.C., Clemons, R.E. (eds.), *Land of Cochise—Southeastern Arizona: New Mexico Geological Society, Guidebook Twenty-ninth Field Conference*, 285–290.
- Maynard, J.B., Valloni, R., Yu, H., 1982, Composition of modern deep sea sands from arc-related basins: *Geological Society of London, Special Publication*, 10, 551-561.
- McBride, E.F., 1985, Diagenetic processes that effect provenance determinations in sandstones: *in* Zuffa, G.G. (ed.), *Provenance of arenites: Dordrecht, Reidel*, 95-114.
- McClelland, W.C., Gilotti, J.A., Mazdab, F.K., Wooden, J.L., 2009, Trace-element record in zircons during exhumation from UHP conditions, North-East Greenland Caledonides: *European Journal of Mineralogy*, 21, 1135–1148.
- McDonough, W. F., Sun, S.S., 1995, The composition of the Earth: *Chemical Geology*, 120, 223–253.
- McKee, M.B., 1991, Deformation and stratigraphic relationships of mid-Cretaceous to early Tertiary mass gravity slides in a marine basin in Sonora, Mexico: Pittsburgh, PA, University of Pittsburgh, disertación doctoral, 286 pp.
- McKee, M.B., Anderson, T.H., 1998, Mass-gravity deposits and structures in the Lower Cretaceous of Sonora, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 110, 1516-1529.
- McLennan, S.M., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. In *Geochemistry and Mineralogy of Rare earth elements*, *in* Lipinand, B.R., McKay, G.A. (eds.), *Mineralogical Society of America: Reviews in Mineralogy*, 2, 169-200.
- McLennan, S.M., 1993, Weathering and global denudation: *The Journal of Geology*, 101, 295–303.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., 1991, Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends: *Journal of Geology*, 99, 1-21.
- McLennan, S.M., Hemming, S.R., Taylor, S.R., Eriksson, K.A., 1995, Early Proterozoic crustal evolution: geochemical and Nd–Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1153–1177
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., Mcculloch, M.T., Maynard, J.B., 1990, Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 2015-2050.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993, Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics: *Geological Society of America, Special Paper*, 284, 21-40.
- Miller, J.S., Glazner, A.F., Walker, J.D., Martin, M.W., 1995, Geochronologic and isotopic evidence for Triassic–Jurassic emplacement of the eugeoclinal allochthon in the Mojave Desert region, California: *Geological Society of America Bulletin*, 107, 1441–1457
- Mondal, M.E.A., Wani, H., Mondal, B., 2012, Geochemical signature of provenance, tectonics and chemical weathering in the Quaternary flood plain sediments of the Hindon River, Gangetic plain, India: *Tectonophysics*, 566–7, 87–94.

- Monreal, R., 1994, Facies changes, unconformities, stratigraphic juxtapositions and their tectonic implications of the Cretaceous of Cerro de Oro Central Sonora, Mexico: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 11, 1–30.
- Monreal, R., 1995, Las facies marinas (Aptiano-Albiano) del Grupo Bisbee y cronocorrelativas en Sonora: *Boletín del Departamento de Geología, UNISON*, 12, 65-78.
- Monreal, R., Longoria, J. F., 2000, Lower Cretaceous rocks of Sierra Los Chinos, east-central Sonora, Mexico: *Geofísica Internacional*, 39, 309-322.
- Monreal, R., Valenzuela, M., González-León, C.M., 1994, A revision of the stratigraphic nomenclature for the Cretaceous of northern Sonora, and some paleogeographic implications: *Boletín del Departamento de Geología, UNISON*, 11, 171-190.
- Monreal, R., Cano-Corona, I., Grijalva-Noriega, F.J., Montijo-González, A., Almazán-Vázquez, E., 2011, Caracterización del Grupo Bisbee (Cretácico Inferior) en el área al sur de la sierra Basómari, Noreste de Sonora, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63, 365-378.
- Murray, R.W., 1994, Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications: *Sedimentary Geology*, 90, 213-232.
- Nagarajan, R., Armstrong-Altrin, J.S., Nagendra, R., Madhavaraju, J., Moutte, J., 2007a, Petrography and geochemistry of terrigenous sedimentary rocks in the Neoproterozoic Rabanpalli Formation, Bhima Basin, southern India: Implications for paleoweathering condition, provenance, and source rock composition: *Journal of the Geological Society of India*, 70, 297-312.
- Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Nagendra, R., Armstrong-Altrin, J.S., Moutte, J., 2007b, Geochemistry of Neoproterozoic shales of the Rabanpalli Formation Bhima Basin, Northern Karnataka, southern India: implications for provenance and paleoredox conditions: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24, 20–30.
- Najman, Y., 2006, The detrital record of orogenesis: a review of approaches and techniques used in the Himalayan sedimentary basin: *Earth Sciences Reviews*, 74, 1–72.
- Navarro, J.C., 1989, Estratigrafía del Cretácico Inferior en el área de Santa Ana, Sonora, México: Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, Tesis profesional, 90pp.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites: *Nature*, 299, 715-717.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1984, Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1523-1534.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1989, Formation and diagenesis of weathering profiles: *Journal of Geology*, 97, 129-147.
- Nesbitt, H.W., Markovics, G., Price, R.C., 1980, Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1659-1666.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., McLennan, S.M., Keays, R.R., 1996, Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies: *The Journal of Geology*, 104, 525-542.

- Nesbitt, H.W., Fedo, C.M., Young, G.M., 1997, Quartz and feldspar stability, steady and non-steady-state weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds: *Journal of Geology*, 105, 173–191.
- North American Commission On Stratigraphic Nomenclature, 1983: North American Stratigraphic Code (NASC), *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67, 841-875.
- North American Commission On Stratigraphic Nomenclature, 1985: North American Stratigraphic Code (NASC): *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 67, 841-875.
- Nourse, J.A., 1995, Jurassic-Cretaceous Paleogeography of Magdalena Region, Northern Sonora, and its influence on the positioning of Tertiary Metamorphic Core Complex: *Geological Society of America, Special Paper*, 301.
- Odoma, A.N., Obaje, N.G., Omada, J.I., Idakwo, S.O., Erbacher, J., 2015, Mineralogical, chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from Southeastern Nigeria: *Journal of African Earth Sciences*, 102, 50-60.
- Ohta, T., 2004, Geochemistry of Jurassic to earliest Cretaceous deposits in the Nagato Basin, SW Japan: implication of factor analysis to sorting effects and provenance signatures: *Sedimentary Geology*, 171, 159-180.
- Pacheco-Olivas, S.A., 2017, *Minerales de arcilla y geoquímica de las rocas siliclásticas de la formación morita, sección sierra San José, Sonora, México*. Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 99pp.
- Pandarínath, K., Verma, S.K., 2013, Application of four sets of tectonomagmatic discriminant function based diagrams to basic rocks from northwest Mexico/ Aplicación de cuatro conjuntos de diagramas tectonomagmáticos basados en funciones discriminantes a rocas básicas del noroeste de México: *Journal of Iberian Geology*, 39, 181.
- Park, H., Barbeau Jr, D.L., Rickenbaker, A., Bachmann-Krug, D., Gehrels, G., 2010, Application of foreland basin detrital-zircon geochronology to the reconstruction of the Southern and Central Appalachian Orogen: *The Journal of Geology*, 118, 23-44.
- Pe-Piper, G., Triantafyllidis, S., Piper, D.J.W., 2008, Geochemical identification of clastic sediment provenance from known sources of similar geology: the Cretaceous Scotian basin, Canada: *Journal of Sedimentary Research*, 78, 595–607.
- Peck, W.H., Valley, J., Wilde, S., 2001, Oxygen isotope ratios and rare earth elements in 3.3 to 4.4 Ga zircons: ion microprobe evidence for high $\delta^{18}\text{O}$ continental crust and oceans in the Early Archean: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65, 4215–4229.
- Pérez-Ramos, O., 1986, Calcomana Ramosa (Boehm), rudista (molusca- bivalva) del Albiano temprano de la región de Santa Ana, Sonora. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 3, 11-17.
- Perri, F., Borrelli, L., Critelli, S., Gulla, G., 2014, Chemical and minero-petrographic features of Plio-Pleistocene fine-grained sediments in Calabria (southern Italy): *Italian Journal of Geosciences*, 133, 101–115.
- Peryam, T.C., Lawton, T.F., Amato, J.M., González-León, C.M., Muel, D.J., 2012, Lower Cretaceous strata of the Sonora Bisbee Basin: A record of the tectonomagmatic evolution of northwestern Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 124, 532-548.

- Petrus, J.A., Kamber, B.S., 2012, VizualAge: A novel approach to laser ablation ICP-MS U-Pb geochronology data reduction: *Geostandards and Geoanalytical Research*, 36, 247-270.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987, *Sand and Sandstone*: New York, 2nd ed. Springer, 553 pp.
- Pindell, J.L., 1985, Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas, and Proto-Caribbean: *Tectonics*, 4, 1-39.
- Pollack, J.M., 1961, Significance of compositional and textural properties of South Canadian River channel sands, New Mexico, Texas and Oklahoma: *Journal of Sedimentary Research*, 31.
- Pupin, J.P., 2000, Granite genesis related to geodynamics from Hf–Y in zircon: *Geological Society of America, Special Papers*, 350, 245-256.
- Ramachandran, A., Madhavaraju, J., Ramasamy, S., Lee, Y.I., Rao, S., Chawngthu, D.L., Velmurugan, K., 2016, Geochemistry of the Proterozoic clastic rocks of Kerur Formation of Kaladgi-Badami Basin, Northern Karnataka, South India: Implications for paleoweathering and provenance: *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, doi: 10.3906/yer-1503-4.
- Ramírez-Montoya, E., 2014, Análisis geoquímico en la lutita de la Caliza Mural, Sección Tuape; para determinar procedencia, condiciones de oxigenación y paleointemperismo: Hermosillo, Son, Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 85 pp.
- Rangin, C., 1978, Speculative model of Mesozoic geodynamics, central Baja California to northeastern Sonora (Mexico), *in* Howell, D.G., McDougall, K.A. (eds.), *Mesozoic symposium: SEPM*, 2, 85-107
- Ransome, F.L., 1904, The geology and ore deposits of the Bisbee quadrangle Arizona: U.S. Geological Survey, Professional Paper, 21, 167.
- Raza, M., Ahmad, A.H.M., Khan, M.S., Khan, F., 2012, Geochemistry and detrital modes of Proterozoic sedimentary rocks, Bayana Basin, north Delhi fold belt: implications for provenance and source-area weathering: *International Geological Reviews*, 54, 111–129.
- Reyes-Campero, L.M., 2008, Petrografía y geoquímica de las rocas carbonatadas de la Caliza Mural, en la sección Cerro Pimas de Grupo Bisbee, al norte de Sonora, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, tesis de licenciatura, 104 pp.
- Ricci-Lucchi, F., 1985, Influence of transport processes and basin geometry on sand composition, *in* G.G. Zuffa (ed.), *Provenance of Arenites*: Advance Scientific Institute, Reidel, Dordrecht, 19–45.
- Rodríguez-Castañeda, J.L., 1991, Mesozoic Stratigraphy in North-Central Sonora, México: *Boletín del Departamento de Geología, UNISON*, 8, 13-27.
- Rodríguez-Castañeda, J.L., Anderson, T.H., 2010, El arco magmático jurásico en Sonora, México—Distribución, edades y ambiente tectónico, *in* Calmus, T. (ed.), *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Boletín* 118, 81–111.
- Roldán-Quintana, J., Solano, R.B., 1978, Contribución a la estratigrafía de las rocas volcánicas del Estado de Sonora: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 1, 19-26.
- Rosales-Domínguez, M.C., Grajales-Nishimura, J.M., Sánchez-Ríos, M.A., Gómez-Luna, M.E., Dueñas, M.A., 1995, Biostratigraphy of the Lower Cretaceous Bisbee Group, Rancho Culantrillo

- area, northeastern Sonora, in Jacques-Ayala, C. (ed.), *Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas*: Geological Society of America, special paper 301, 49-57.
- Roser, B.P., 2000, Whole-rock geochemical studies of clastic sedimentary suites: *Memoirs of the Geological Society of Japan*, 57, 73–89.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1985, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: a discussion: *The Journal of Geology*, 93, 81-84.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986, Determination of tectonic setting of sand-stone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio: *Journal of Geology*, 94, 635–650.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1988, Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data: *Chemical geology*, 67, 119-139.
- Ross, G.M., 1991, Tectonic setting of the Windermere Supergroup revisited: *Geology*, 19, 1125-1128.
- Rubatto, D., 2002, Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism: *Chemical Geology*, 184, 123–138.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2004, Composition of the Continental Crust, *in* Holland, H.D. Turekian, K.K. (eds.), Elsevier, Amsterdam: *Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2003, Composition of the continental crust, *in* Rudnick, R.L. (ed.), *The Crust: Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64.
- Ryan, K.M., Williams, D.M., 2007, Testing the reliability of discrimination diagrams for determining the tectonic depositional environment of ancient sedimentary basins: *Chemical Geology*, 242, 103–125.
- Salas, G.A., 1968, *Areal Geology and Petrology of the Igneous Rocks of the Santa Ana Quadrangle, Sonora, México*: Norman, Oklahoma, Oklahoma University, Master Thesis, 118 pp.
- Sanchez-Medrano, P.A., 2016, Estratigrafía y proveniencia de areniscas de la Formación Morita, secciones de Sierra San José, Noroeste de Sonora y montañas Mule, sureste de Arizona. Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 81pp.
- Saucedo-Samaniego, J.C., 2015, Procedencia y paleointemperismo de los miembros siliclásticos de la caliza mural, sección rancho bufalo, Fronteras, Sonora. Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 85pp.
- Sappal, S.M., Ramanathan, A., Ranjan, R.K., Singh, G., Kumar, A., 2014, Rare earth elements as biogeochemical indicators in mangrove ecosystems (Pichavaram, Tamilnadu, India): *Journal of Sedimentary Research*, 84, 781-791.
- Sawyer, E.W., 1986, The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico metasedimentary belt, Superior Province, Canada: *Chemical Geology*, 55, 77-95.
- Schaltegger, U., Fanning, C.M., Gunther, D., Maurin, J.C., Schulmann, K., Gebauer, D., 1999, Growth, annealing and recrystallisation of zircon and preservation of monazite in high- grade metamorphism: Conventional and insitu U-Pb isotope, cathodoluminescence and microchemical evidence. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134, 186–201.

- Sheth, H.C., 2008, Do major oxide tectonic discrimination diagrams work? Evaluating new log–ratio and discriminant–analysis–based diagrams with Indian Ocean mafic volcanics and Asian ophiolites: *Terra Nova*, 20, 229–236.
- Silver, L.T., Anderson, T.H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North American Craton margin: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 6, 955-956.
- Silver, L.T., Anderson, T.H., 1983, Further evidence and analysis of the role of the Mojave–Sonora megashear(s) in Mesozoic Cordilleran tectonics: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 15, p. 273.
- Sircombe, K.N., 1999, Tracing provenance through the isotope ages of littoral and sedimentary detrital zircon, eastern Australia: *Sedimentary Geology*, 124, 47-67.
- Sláma, J., Kosler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., Whitehouse, M.J., 2008, Plesovice zircon – A new natural reference material for U–Pb and Hf isotope microanalysis: *Chemical Geology* 249, 1–35.
- Solano-Moreno, O., 1989, Estudio geológico de las sierras La Ceniza, El Caloso y Santa Rosa, municipio de Agua Prieta, Sonora: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 73 pp.
- Solari, L.A., Gomez-Tuena, A., Bernal, J.P., Perez-Arvizu, O., Tanner, M., 2010, U–Pb zircon geochronology by an integrated LA-ICPMS microanalytical work-station: Achievements in precision and accuracy. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 34, 5–18.
- Solari, L.A., Tanner, M., 2011, U–Pb age, a fast data reduction script for LA-ICP-MS U–Pb geochronology: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28, 83–91.
- Spalletti, L.A., Cingolani, C.A., Varela, R., 1991, Ambientes y procesos generadores de las sedimentitas portadoras de hierro en la plataforma siluro-eodevónica de la Patagonia, República Argentina: *Revista Museo de La Plata, nueva serie, sección Geología*, 10, 305-318.
- Spalletti, L.A., Arrondo, O.G., Morel, E.M., Ganuza, D.G., 1992, Evidencias sobre la edad triásica de la Formación Lapa en la región de Chacaicó, provincia del Neuquén: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 46, 167-172.
- Spalletti, L.A., Limarino, C.O., Pinol, F.C., 2012, Petrology and geochemistry of Carboniferous siliciclastics from the Argentine Frontal Cordillera: A test of methods for interpreting provenance and tectonic Setting: *Journal of South American Earth Sciences*, 36, 32–54.
- Speer, J.A., 1980, Zircon, *in* Ribbe P.H. (ed.), *Orthosilicates*, *Reviews in mineralogy: Mineralogical Society of America*, 67–112
- Spiegel, C., Kuhlemann, J., Dunkl, I., Frisch, W., von Eynatten, H., Kadosa, B., 2000, Erosion history of the central Alps: evidence from zircon fission track data of the foreland basin sediment: *Terra Nova*, 12, 163–170.
- Sreenivas, B., Srinivasan, R., 1994, Identification of paleosols in the Precambrian metapelitic assemblages of peninsular India—A major element geochemical approach: *Current Science*, 67, 89–94.

- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two- stage model: *Earth and Planetary Sciences Letters*, 26, 207-221.
- Stewart, J.H., Gehrels, G.E., Barth, A.P., Link, P.K., Christie-Blick, N., Wrucke, C.T., 2001, Detrital zircon provenance of Mesoproterozoic to Cambrian arenites in the western United States and northwestern Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 113, 1343-1356.
- Sun, M., Yuan, C., Xiao, W., Long, X., Xia, X., Zhao, G., Kröner, A., 2008, Zircon U–Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai: progressive accretionary history in the early to middle Palaeozoic: *Chemical Geology*, 247, 352-383.
- Sun, L., Gui, H., Chen, S., 2012, Geochemistry of sandstones from the Neoproterozoic Shijia Formation, northern Anhui Province, China: implications for provenance, weathering and tectonic setting: *Chemie der Erde*, 77, 253–260.
- Suttner, L.J., Basu, A., Mack, G.H., 1981, Climate and the origin of quartz arenites: *Journal of Sedimentary Research*, 51.
- Taliaferro, N.L., 1933, An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico: *Journal of Geology*, 41, 12-37.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985, *The Continental Crust: its Composition and Evolution*: Blackwell, Oxford, 349pp.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995, The geochemical evolution of the continental crust: *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265.
- Thomas, C.W., Aitchison, J., 2005, Compositional data analysis of geological variability and process: a case study: *Mathematical Geology*, 37, 753–772.
- Tobia, F., Shangola, S., 2016, Mineralogy, geochemistry, and depositional environment of the Beduh shale (lower Triassic), Northern Thrust Zone, Iraq: *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 367-391.
- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., Grajales, J.M., 1999, A Permo-Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstructions of southern North America: *Geological Society Of America, Special Papers*, 191-196.
- Tosdal, R.M.; Haxel, G.B.; y Wright, J.E., 1989, Jurassic geology of the Sonoran Desert region, southern Arizona, southeastern California, and northernmost Sonora—construction of a continental-margin magmatic arc, *in* Jenny, J.P., Reynolds, J. (eds.), *Geologic evolution of Arizona*: *Arizona Geological Society Digest*, 17, 397–434.
- Valentine, W.G., 1936, *Geology of the Cananea Mountains, Sonora, Mexico*: *Geological Society of America Bulletin*, 47, 53-86.
- Valloni, R., 1985, Reading provenance from modern marine sands, *in* Zuffa, G.G. (ed.), *Provenance of Arenites*: *Reidel Publ., Dordrecht*, 309 – 332.
- Veever, J.J., Saeed. A., Pearson, N., Belousova, E., Kinny, P.D., 2008, Zircons and clay from morainal Permian siltstone at Mt Rymill (73°S, 66°E), Prince Charles Mountains, Antarctica, reflect the ancestral Gamburtsev Subglacial Mountains–Vostok Subglacial Highlands complex: *Gondwana Research*, 14, 343–354.

- Verma, S.K., Oliveira, E.P., 2013, Application of multi-dimensional discrimination diagrams and probability calculations to Paleoproterozoic acid rocks from Brazilian cratons and provinces to infer tectonic settings: *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 117-146.
- Verma, S.P., 2010, Statistical evaluation of bivariate, ternary and discriminant function tectonomagmatic discrimination diagrams: *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19, 185–238.
- Verma, S.P., 2012, Application of multi-dimensional discrimination diagrams and probability calculations to acid rocks from Portugal and Spain: *Comunicaciones Geológicas*, 99, 79–93.
- Verma, S.P., 2013, Application of 50 multi-dimensional discrimination diagrams and significance tests to decipher compositional similarities and differences between Hawaiian and Icelandic volcanism: *International Geological Review*, 55, 1553–1572.
- Verma, S.P., Armstrong-Altrin, J.S., 2013, New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins: *Chemical Geology*, 355, 117–133.
- Verma, S.P., Armstrong-Altrin, J.S., 2016, Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings: *Sedimentary Geology*, 332, 1-12.
- Verma, S.P., Guevara, M., Agrawal, S., 2006, Discriminating four tectonic settings: five new geochemical diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks based on log-ratio transformation of major-element data: *Journal of Earth System Sciences*, 115, 485–528.
- Verma, S.P., Pandarinath, K., Verma, S.K., Agrawal, S., 2013, Fifteen new discriminant function-based multi-dimensional robust diagrams for acid rocks and their application to Precambrian rocks: *Lithos*, 168–169, 113–123.
- Viveros, M. A., 1965, Estudio Geológico de la Sierra de Cabullona, Municipio de Agua Prieta, Estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis profesional, 82 pp.
- von Eynatten, H., Dunkl, I., 2012, Assessing the sediment factory: the role of single grain analysis: *Earth-Science Reviews*, 115, 97-120.
- Walker, J.D., Martin, M.W., Glazner, A.F., 2002, Late Paleozoic to Mesozoic development of the Mojave Desert and environs, California, *in* Glazner, A.F., Walker, J.D., Bartley, J.M. (eds.), *Geologic Evolution of the Mojave Desert and Southwestern Basin and Range*: Geological Society of America, Memoir, 195, 1–18.
- Wang, Y.J., Zhao, G.C., Xia, X.P., Zhang, Y.H., Fan, W.M., Li, C., Bi, X.W., Li, S.Z., 2009, Early Mesozoic unroofing pattern of the Dabie Mountains (China): constraints from the U–Pb detrital zircon geochronology and Si-in-white mica analysis of synorogenic sediments in the Jiangnan Basin: *Chemical Geology*, 266, 231-241.
- Watson, E.B., Cherniak, D. J., 1997, Oxygen diffusion in zircon: *Earth and Planetary Science Letters*, 148, 527-544.
- Weltje, G.J., 2006, Ternary sandstone composition and provenance: an evaluation of the 'Dickinson model': *Geological Society, London, Special Publications*, 264, 79-99.
- Weltje, G.J., 2012, Quantitative models of sediment generation and provenance: state of the art and future developments: *Sedimentary Geology*, 280, 4-20.

- Weltje, G.J., 2002, Quantitative analysis of detrital modes: Statistically rigorous confidence methods in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology: *Earth Science Reviews*, 57, 211–253.
- Weltje, G.J., Meijer, X.D., de Boer, P.L., 1998, Stratigraphic inversion of siliciclastic basin fills: a note on the distinction between supply signals resulting from tectonic and climatic forcing: *Basin Research*, 10, 129-153.
- Whitehouse, M.J., Kamber, B.S., 2002, On the overabundance of light rare earth elements in terrestrial zircons and its implications for Earth's earliest magmatic differentiation: *Earth and Planetary Sciences Letters*, 204, 333–346.
- Willard, J.D., 1988, Geology, sandstone petrography, and provenance of the Jurassic (?)–Cretaceous rocks of the Puerto El Álamo area, northwestern Sonora, Mexico: Cincinnati, Ohio, University of Cincinnati, tesis de maestría, 250 pp.
- Williams, I.S., Buick, I.S., Cartwright, I., 1996, An extended episode of early Mesoproterozoic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia: *Journal of Metamorphic Geology*, 14, 29–47.
- Wronkiewicz, D.J., Condie, K.C., 1987, Geochemistry of Archaean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa. Source-area weathering and provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, 2401-2416.
- Wronkiewicz, D.J., Condie, K.C., 1989, Geochemistry and provenance of sediments from the Pongola Supergroup, South Africa: evidence for a 3.0 Ga old continental cratón: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 537-549.
- Wronkiewicz, D.J., Condie, K.C., 1990, Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa. Cratonic evolution during the early Proterozoic: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 343-354.
- Wysoczanski, R.J., Gibson, G.M., Ireland, T.R., 1997, Detrital zircon age patterns and provenance in late Paleozoic–Early Mesozoic New Zealand terranes and development of the Paleo-Pacific Gondwana margin: *Geology*, 25, 939-942.
- Yao, J., Shu, L., Santosh, M., 2011, Detrital zircon U–Pb geochronology, Hf-isotope and geochemistry – New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China: *Gondwana Research*, 20, 553–567.
- Young, S.W., 1976, Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks: *Journal of Sedimentary Research*, 46.
- Zaid, S.M., 2012, Provenance, diagenesis, tectonic setting and geochemistry of Rudies sandstone (Lower Miocene), Warda Field, Gulf of Suez, Egypt: *Journal of African Earth Sciences*, 56–71.
- Zimmermann, U., Bahlburg, H., 2003, Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina: *Sedimentology*, 50, 1079-1104.
- Zuffa, G., 1980, Optical analysis of arenites: their composition and classification: *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, 21– 29.

Anexo 1 U–Pb relaciones isotópicas y edades de zircón detrítico de la muestra SAMF 5.

SAMF 5	RELACIONES CORREGIDAS								EDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s	Mejor edad (Ma)	±2s
Zircon_001	110	104	0.0981	0.0041	3.6100	0.1500	0.2697	0.0047	0.2687	1539	24	1561	32	1591	41	1591	41
Zircon_002	483	537	0.0954	0.0036	3.3300	0.1300	0.2564	0.0048	0.5864	1471	24	1490	29	1533	33	1533	33
Zircon_003	428	120	0.0884	0.0034	2.5000	0.1000	0.2067	0.0058	0.7362	1211	31	1273	33	1400	38	1400	38
Zircon_004	300	267	0.0755	0.0030	1.5950	0.0680	0.1540	0.0036	0.2553	923	20	967	26	1099	64	923	20
Zircon_005	686	562	0.0555	0.0027	0.2490	0.0120	0.0323	0.0007	0.1547	204.9	4.3	225.5	9.3	429	59	204.9	4.3
Zircon_006	1010	672	0.0541	0.0027	0.2550	0.0120	0.0341	0.0006	0.4504	216.4	3.8	231	10	357	50	216.4	3.8
Zircon_007	282	123	0.0753	0.0030	1.8560	0.0760	0.1788	0.0032	0.4555	1060	17	1065	26	1062	39	1060	17
Zircon_008	50	25	0.0753	0.0040	1.7140	0.0850	0.1634	0.0031	0.3826	975	17	1011	31	1099	51	975	17
Zircon_010	87	41	0.0818	0.0041	2.2700	0.1300	0.2048	0.0056	0.1125	1201	30	1212	38	1228	62	1228	62
Zircon_011	615	212	0.1021	0.0045	3.8600	0.1600	0.2825	0.0050	0.5147	1604	25	1603	32	1634	63	1634	63
Zircon_012	325	754	0.0528	0.0035	0.2500	0.0170	0.0345	0.0007	0.2754	218.8	4.3	226	14	329	83	218.8	4.3
Zircon_013	200	170	0.0506	0.0030	0.2070	0.0120	0.0297	0.0006	0.3612	188.7	3.7	190	10	309	61	188.7	3.7
Zircon_014	1258	2423	0.0512	0.0054	0.2300	0.0230	0.0327	0.0006	0.1597	207.6	3.7	210	18	270	160	207.6	3.7
Zircon_015	1194	705	0.0999	0.0037	4.0200	0.1500	0.2911	0.0052	0.5886	1647	26	1642	28	1632	39	1632	39
Zircon_016	375	371	0.0513	0.0029	0.2520	0.0140	0.0358	0.0006	0.0815	226.9	4	228	12	294	53	226.9	4
Zircon_017	196	105	0.0921	0.0035	3.2300	0.1200	0.2541	0.0044	0.4640	1459	23	1464	29	1469	42	1469	42
Zircon_018	452	190	0.0895	0.0035	2.9300	0.1100	0.2418	0.0037	0.2352	1396	19	1390	29	1397	48	1397	48
Zircon_019	108	82	0.0511	0.0054	0.2780	0.0300	0.0390	0.0011	0.1068	246.4	6.9	250	23	510	130	246.4	6.9
Zircon_020	226	143	0.0515	0.0038	0.2800	0.0190	0.0395	0.0008	0.1388	249.5	5.2	250	15	343	77	249.5	5.2
Zircon_021	214	131	0.0793	0.0032	1.8420	0.0740	0.1687	0.0026	0.1634	1008	14	1059	29	1153	40	1008	14
Zircon_022	349	261	0.0524	0.0031	0.2590	0.0150	0.0365	0.0008	0.2152	230.9	4.9	235	12	345	69	230.9	4.9
Zircon_023	82	89	0.0539	0.0071	0.2810	0.0370	0.0372	0.0010	0.1902	235.7	6.4	249	29	490	140	235.7	6.4
Zircon_024	317	255	0.0537	0.0041	0.2310	0.0170	0.0316	0.0006	0.0684	200.3	3.6	210	14	422	73	200.3	3.6
Zircon_025	281	58	0.1061	0.0040	4.5200	0.1800	0.3112	0.0070	0.1659	1746	34	1733	34	1703	38	1703	38
Zircon_026	48	34	0.0805	0.0050	2.1800	0.1300	0.1957	0.0047	0.2064	1152	25	1169	36	1221	63	1152	25
Zircon_027	545	186	0.0628	0.0027	0.8130	0.0340	0.0936	0.0015	0.3434	576.9	8.9	604	19	710	52	576.9	8.9

Zircon_028	466	686	0.0524	0.0031	0.2630	0.0150	0.0364	0.0006	0.3045	230.3	3.9	237	12	326	85	230.3	3.9
Zircon_029	62	100	0.0927	0.0047	3.2100	0.1600	0.2505	0.0048	0.0764	1441	25	1456	38	1453	50	1453	50
Zircon_030	134	262	0.0896	0.0038	2.7300	0.1200	0.2194	0.0041	0.3855	1278	22	1336	31	1432	41	1432	41
Zircon_031	195	92	0.0914	0.0038	3.0800	0.1400	0.2486	0.0097	0.6556	1431	52	1425	37	1443	56	1443	56
Zircon_032	57	39	0.0831	0.0039	2.4700	0.1200	0.2187	0.0046	0.3318	1275	24	1265	34	1278	41	1278	41
Zircon_033	494	510	0.0510	0.0025	0.2920	0.0150	0.0413	0.0007	0.0596	261.1	4	260	11	253	67	261.1	4
Zircon_034	259	134	0.1028	0.0039	4.1800	0.1500	0.2951	0.0046	0.7408	1666	23	1673	29	1669	35	1669	35
Zircon_035	780	494	0.0515	0.0027	0.2320	0.0120	0.0331	0.0006	0.3268	210.1	3.5	212.8	9.7	269	68	210.1	3.5
Zircon_036	213	93	0.0993	0.0041	3.9100	0.2400	0.2840	0.0150	0.3648	1609	79	1613	64	1628	60	1628	60
Zircon_037	736	599	0.0518	0.0025	0.2610	0.0130	0.0366	0.0006	0.3036	231.5	3.8	235	11	282	60	231.5	3.8
Zircon_038	591	602	0.0516	0.0025	0.2900	0.0140	0.0405	0.0007	0.1037	256.1	4.4	258	11	291	45	256.1	4.4
Zircon_039	618	772	0.0604	0.0029	0.2880	0.0130	0.0349	0.0006	0.3746	221.1	3.6	257	10	626	57	221.1	3.6
Zircon_040	551	430	0.0505	0.0029	0.2910	0.0160	0.0416	0.0008	0.0125	262.6	4.6	259	13	335	40	262.6	4.6
Zircon_041	575	432	0.0518	0.0028	0.2300	0.0120	0.0324	0.0006	0.1398	205.8	3.8	210	10	279	58	205.8	3.8
Zircon_042	101	69	0.0851	0.0037	2.7000	0.1100	0.2292	0.0039	0.3452	1330	21	1329	31	1345	46	1345	46
Zircon_043	1147	2366	0.0511	0.0024	0.2111	0.0098	0.0300	0.0005	0.2445	190.8	3.2	194.3	8.2	280	52	190.8	3.2
Zircon_044	948	594	0.0515	0.0022	0.2820	0.0120	0.0400	0.0008	0.4249	252.7	4.7	252.4	9.8	270	60	252.7	4.7
Zircon_045	272	173	0.0744	0.0030	1.8530	0.0730	0.1804	0.0030	0.1726	1069	16	1064	26	1050	36	1069	16
Zircon_046	1581	390	0.0516	0.0021	0.2600	0.0100	0.0365	0.0006	0.2733	231.3	3.6	234.5	8.1	286	58	231.3	3.6
Zircon_047	513	100	0.0989	0.0036	3.6900	0.1300	0.2738	0.0047	0.5888	1560	24	1568	28	1599	44	1599	44
Zircon_048	78	33	0.0744	0.0036	1.7990	0.0820	0.1755	0.0033	0.0842	1042	18	1043	30	1060	46	1042	18
Zircon_049	192	182	0.0626	0.0034	0.8930	0.0490	0.1034	0.0016	0.2820	634	10	646	26	709	72	634	10
Zircon_050	347	68	0.0552	0.0026	0.5340	0.0240	0.0700	0.0011	0.3496	436.3	6.6	434	16	423	62	436.3	6.6
Zircon_051	152	131	0.0910	0.0038	3.1600	0.1200	0.2529	0.0045	0.2358	1453	23	1447	30	1450	32	1450	32
Zircon_052	55	33	0.0811	0.0049	2.3300	0.1300	0.2058	0.0044	0.4971	1206	23	1216	41	1252	58	1252	58
Zircon_053	317	108	0.0910	0.0034	3.1500	0.1200	0.2504	0.0041	0.6161	1440	21	1445	29	1458	37	1458	37
Zircon_054	117	69	0.0754	0.0031	1.8850	0.0740	0.1811	0.0033	0.3124	1073	18	1075	26	1083	57	1073	18
Zircon_055	185	68	0.0754	0.0032	1.9140	0.0820	0.1851	0.0030	0.4065	1095	16	1088	30	1081	43	1095	16
Zircon_056	357	188	0.0522	0.0033	0.3090	0.0200	0.0432	0.0008	0.0954	272.4	4.7	277	14	359	74	272.4	4.7
Zircon_057	71	94	0.0600	0.0180	0.2630	0.0900	0.0314	0.0017	0.1582	199	10	231	59	1070	300	199	10
Zircon_058	518	275	0.0530	0.0030	0.2330	0.0120	0.0327	0.0007	0.4273	207.5	4.5	214	10	323	58	207.5	4.5

Zircon_059	472	404	0.0518	0.0030	0.2760	0.0170	0.0385	0.0008	0.2436	243.6	5.1	247	13	284	61	243.6	5.1
Zircon_060	622	502	0.0511	0.0031	0.2220	0.0150	0.0320	0.0007	0.3373	203.2	4.6	206	12	370	66	203.2	4.6
Zircon_061	1066	591	0.0525	0.0023	0.2920	0.0140	0.0406	0.0008	0.5600	256.5	4.8	260	11	309	37	256.5	4.8
Zircon_062	229	82	0.0942	0.0038	3.4100	0.1400	0.2623	0.0045	0.4392	1501	23	1506	31	1504	55	1504	55
Zircon_063	1171	601	0.0532	0.0024	0.2340	0.0100	0.0320	0.0005	0.1167	203.1	3.1	213.4	8.6	361	52	203.1	3.1
Zircon_064	543	251	0.0979	0.0036	3.7500	0.1400	0.2762	0.0049	0.4044	1572	25	1581	30	1592	44	1592	44
Zircon_065	59	29	0.0836	0.0045	2.3900	0.1300	0.2075	0.0038	0.1021	1216	20	1247	34	1297	45	1297	45
Zircon_067	638	666	0.0512	0.0030	0.2490	0.0150	0.0356	0.0009	0.5192	225.3	5.5	225	12	352	55	225.3	5.5
Zircon_068	899	575	0.0513	0.0024	0.2940	0.0130	0.0419	0.0008	0.1416	264.8	4.6	262	10	289	58	264.8	4.6
Zircon_069	403	194	0.0555	0.0031	0.2560	0.0150	0.0334	0.0008	0.0584	212	4.8	231	12	444	61	212	4.8
Zircon_070	112	44	0.0730	0.0036	1.7890	0.0820	0.1769	0.0035	0.4317	1050	19	1040	29	1029	62	1050	19
Zircon_071	492	375	0.1014	0.0039	4.1500	0.1600	0.2958	0.0055	0.5686	1670	29	1664	30	1658	41	1658	41
Zircon_072	1019	588	0.0888	0.0033	2.9500	0.1100	0.2410	0.0036	0.5972	1392	19	1394	27	1402	41	1402	41
Zircon_073	289	141	0.0752	0.0030	1.8790	0.0780	0.1816	0.0036	0.6391	1076	19	1072	27	1070	52	1076	19
Zircon_074	356	190	0.0884	0.0033	3.0800	0.1200	0.2497	0.0042	0.5601	1437	22	1429	29	1404	46	1404	46
Zircon_075	372	206	0.0547	0.0030	0.4900	0.0280	0.0654	0.0014	0.1984	408	8.3	406	19	386	60	408	8.3
Zircon_076	308	277	0.0892	0.0035	3.0000	0.1200	0.2460	0.0045	0.4512	1417	23	1409	31	1393	42	1393	42
Zircon_077	73	56	0.0602	0.0067	0.5690	0.0590	0.0704	0.0017	0.2329	439	10	466	38	670	110	439	10
Zircon_078	150	104	0.0800	0.0037	2.1490	0.0910	0.1955	0.0038	0.2663	1151	21	1162	31	1209	47	1151	21
Zircon_079	344	134	0.0770	0.0030	2.0280	0.0780	0.1914	0.0033	0.5177	1129	18	1124	26	1122	36	1129	18
Zircon_080	283	383	0.0992	0.0040	4.1300	0.1600	0.3047	0.0054	0.2113	1714	27	1659	33	1611	57	1611	57
Zircon_081	1130	1486	0.0512	0.0022	0.2430	0.0110	0.0343	0.0006	0.2507	217.6	4	220.4	8.6	255	38	217.6	4
Zircon_082	422	204	0.0533	0.0036	0.2590	0.0170	0.0351	0.0007	0.1952	222.5	4.5	233	14	379	66	222.5	4.5
Zircon_083	816	783	0.0505	0.0031	0.1860	0.0110	0.0269	0.0006	0.3453	171.3	3.5	173.2	9.2	283	75	171.3	3.5
Zircon_084	109	190	0.0749	0.0036	2.0720	0.0980	0.1969	0.0039	0.0349	1159	21	1137	32	1089	48	1159	21
Zircon_085	74	48	0.0750	0.0045	1.7330	0.0920	0.1698	0.0041	0.4548	1011	22	1017	35	1105	90	1011	22
Zircon_086	479	679	0.0533	0.0060	0.2350	0.0280	0.0324	0.0008	0.1813	205.7	5.1	213	22	430	160	205.7	5.1
Zircon_087	326	287	0.0779	0.0031	2.1360	0.0850	0.1980	0.0032	0.4089	1165	17	1159	28	1132	42	1165	17
Zircon_088	552	581	0.0529	0.0040	0.2530	0.0190	0.0347	0.0008	0.1639	219.7	5	228	16	348	73	219.7	5
Zircon_089	695	831	0.0531	0.0032	0.2480	0.0160	0.0346	0.0007	0.1699	219.3	4.4	224	13	395	79	219.3	4.4
Zircon_090	1103	420	0.0522	0.0023	0.3200	0.0140	0.0449	0.0008	0.1791	283.2	4.8	282	10	280	52	283.2	4.8

Zircon_091	463	282	0.0564	0.0030	0.5620	0.0290	0.0724	0.0013	0.2419	450.4	7.6	458	18	497	66	450.4	7.6
Zircon_092	330	220	0.0757	0.0034	1.7930	0.0780	0.1735	0.0031	0.0778	1031	17	1049	28	1055	37	1031	17
Zircon_093	906	737	0.1000	0.0039	3.8500	0.1500	0.2799	0.0076	0.5977	1591	39	1602	34	1632	41	1632	41
Zircon_094	1217	412	0.1087	0.0039	4.6500	0.1700	0.3113	0.0053	0.5065	1747	26	1757	31	1779	41	1779	41
Zircon_095	1223	523	0.0533	0.0025	0.2540	0.0110	0.0354	0.0006	0.6574	224.3	3.4	229.8	9.1	338	66	224.3	3.4
Zircon_096	150	150	0.0892	0.0038	3.0200	0.1300	0.2442	0.0042	0.3800	1409	22	1411	33	1411	52	1411	52
Zircon_097	329	310	0.0509	0.0043	0.2210	0.0190	0.0304	0.0008	0.1910	193	4.8	204	15	490	130	193	4.8
Zircon_098	432	685	0.0527	0.0036	0.2520	0.0160	0.0349	0.0009	0.3879	221.2	5.4	228	13	424	61	221.2	5.4
Zircon_099	273	324	0.0916	0.0036	3.0600	0.1200	0.2474	0.0045	0.7070	1425	23	1429	28	1449	38	1449	38
Zircon_100	175	155	0.0907	0.0038	3.1400	0.1400	0.2530	0.0048	0.3451	1454	24	1440	33	1419	44	1419	44

Anexo 2 U–Pb relaciones isotópicas y edades de zircón detrítico de la muestra SAMF 24.

SAMF 24	RELACIONES CORREGIDAS									EDADES CORREGIDAS							
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s	Mejor edad (Ma)	±2s
Zircon_01	1353	266	0.0501	0.0026	0.2029	0.0110	0.0290	0.0007	0.0611	184.3	4.4	187.5	9	224	71	184.3	4.4
Zircon_02	400	420	0.0511	0.0033	0.2440	0.0150	0.0346	0.0009	0.0544	219.4	5.5	220.9	13	265	66	219.4	5.5
Zircon_03	245.3	338	0.0539	0.0053	0.1970	0.0180	0.0263	0.0009	0.1158	167.4	5.8	182	15	460	130	167.4	5.8
Zircon_04	308	120.5	0.0507	0.0037	0.2400	0.0160	0.0335	0.0010	0.1662	212.5	6.2	217.8	13	380	71	212.5	6.2
Zircon_05	399	108.2	0.1076	0.0053	4.6690	0.2400	0.3105	0.0074	0.3026	1743	37	1761	42	1781	44	1781	37
Zircon_06	80.6	27.7	0.0990	0.0055	3.7500	0.2100	0.2735	0.0072	0.0305	1558	36	1583	44	1588	69	1588	36
Zircon_07	415	97.5	0.0508	0.0033	0.2820	0.0190	0.0400	0.0010	0.1046	252.6	6.2	252	15	287	69	252.6	6.2
Zircon_08	293	402	0.0545	0.0030	0.5390	0.0300	0.0708	0.0017	0.0061	441.1	10	437.5	20	389	76	441.1	10
Zircon_09	217.9	141.4	0.0546	0.0034	0.4950	0.0310	0.0666	0.0017	0.0238	415.5	10	407	21	395	83	415.5	10
Zircon_10	612	367	0.0980	0.0048	3.5110	0.1900	0.2538	0.0063	0.3598	1458	32	1529	42	1607	82	1607	32
Zircon_11	73.4	31.8	0.0933	0.0049	3.3750	0.1800	0.2614	0.0066	0.0314	1497	34	1497	41	1498	80	1498	34
Zircon_12	74.8	35	0.0745	0.0047	1.7820	0.1100	0.1712	0.0044	0.1224	1019	24	1039	39	1084	61	1019	24
Zircon_13	154.4	43.6	0.1951	0.0094	14.1900	0.7000	0.5280	0.0130	0.4538	2732	53	2765	51	2785	53	2785	53
Zircon_14	693	602	0.0549	0.0028	0.5370	0.0290	0.0694	0.0016	0.1742	432.4	9.4	435.8	19	442	70	432.4	9.4
Zircon_15	273	127.3	0.0745	0.0037	1.7990	0.0910	0.1742	0.0039	0.3555	1035	22	1044	33	1061	60	1035	22
Zircon_16	78	50.8	0.0766	0.0049	1.9120	0.1100	0.1802	0.0051	0.0661	1068	28	1086	41	1123	60	1068	28
Zircon_17	438	33.5	0.0537	0.0030	0.4390	0.0250	0.0589	0.0015	0.1547	368.7	9	370.8	17	389	76	368.7	9
Zircon_18	57.4	32.7	0.0731	0.0045	1.7920	0.1100	0.1779	0.0048	0.1110	1055	26	1039	39	1001	61	1055	26
Zircon_19	540	348	0.0484	0.0031	0.1713	0.0110	0.0253	0.0007	0.0136	161	4.2	160.3	9.6	230	70	161	4.2
Zircon_20	320	220.6	0.0538	0.0032	0.3980	0.0230	0.0534	0.0014	0.0085	335.4	8.4	339.3	17	426	66	335.4	8.4
Zircon_21	519	348	0.0523	0.0030	0.2866	0.0170	0.0396	0.0010	0.0410	250.3	6.1	256.8	13	324	64	250.3	6.1
Zircon_22	63.7	34.6	0.0899	0.0049	3.2000	0.1800	0.2565	0.0063	0.2007	1472	32	1454	45	1414	67	1414	32

Zircon_23	75.8	33.7	0.0899	0.0054	3.0400	0.1800	0.2406	0.0059	0.2906	1390	30	1414	46	1438	59	1438	30
Zircon_24	153.7	76	0.0745	0.0038	1.7580	0.0950	0.1727	0.0044	0.1446	1027	24	1031	34	1047	66	1027	24
Zircon_25	103.3	42	0.0891	0.0044	2.9340	0.1500	0.2373	0.0055	0.1133	1373	29	1392	40	1404	59	1373	29
Zircon_26	115	32.8	0.0511	0.0042	0.2410	0.0190	0.0348	0.0011	0.0706	220.5	7	220	16	440	90	220.5	7
Zircon_27	414	237.3	0.0499	0.0030	0.2305	0.0140	0.0334	0.0008	0.1536	211.9	5.2	210.3	12	251	61	211.9	5.2
Zircon_28	578	215.6	0.0892	0.0043	3.0490	0.1500	0.2468	0.0055	0.3694	1421.6	28	1421.1	39	1407	66	1407	28
Zircon_29	41.6	29.7	0.0946	0.0062	3.0300	0.1900	0.2325	0.0071	0.1129	1347	37	1416	51	1516	55	1516	37
Zircon_30	149	66.6	0.0505	0.0042	0.2490	0.0200	0.0359	0.0011	0.0977	227	7	226	16	400	89	227	7
Zircon_31	389	297	0.0514	0.0037	0.2420	0.0160	0.0335	0.0009	0.2393	212.2	5.3	219.7	13	294	66	212.2	5.3
Zircon_32	30.9	21.05	0.0957	0.0065	3.6000	0.2400	0.2733	0.0075	0.0831	1557	38	1550	55	1569	53	1569	38
Zircon_33	495	198	0.0489	0.0031	0.2423	0.0150	0.0356	0.0009	0.0941	225.2	5.4	219.9	12	245	56	225.2	5.4
Zircon_34	248	59.3	0.0736	0.0039	1.7200	0.0930	0.1681	0.0039	0.2622	1001.6	21	1015	35	1001	48	1001.6	21
Zircon_35	602	348	0.0500	0.0031	0.2412	0.0140	0.0344	0.0009	0.0115	218	5.7	219.1	12	262	69	218	5.7
Zircon_36	310	37.1	0.0876	0.0052	1.3250	0.1000	0.1100	0.0042	0.6816	673	25	854	44	1349	80	673	25
Zircon_37	489	540	0.0493	0.0033	0.1799	0.0120	0.0263	0.0007	0.0027	167.3	4.2	167.7	10	280	62	167.3	4.2
Zircon_38	71.9	47.8	0.0887	0.0049	3.0950	0.1800	0.2524	0.0064	0.3389	1451	33	1428	43	1414	76	1414	33
Zircon_39	338	425	0.0476	0.0035	0.1732	0.0120	0.0262	0.0007	0.1391	166.4	4.4	161.8	11	320	79	166.4	4.4
Zircon_40	204.6	84.6	0.0876	0.0043	2.9840	0.1500	0.2449	0.0055	0.0320	1412	29	1402	39	1358	72	1412	29
Zircon_41	103.8	81.2	0.0922	0.0050	3.2220	0.1800	0.2526	0.0059	0.0703	1452	30	1460	43	1482	56	1482	30
Zircon_42	105	65.6	0.0619	0.0046	0.8640	0.0600	0.0990	0.0026	0.0765	608.5	15	629	33	704	70	608.5	15
Zircon_44	169.6	45.6	0.0733	0.0040	1.6620	0.0980	0.1645	0.0045	0.4130	981	25	1003	38	1024	71	981	25
Zircon_45	347	84.9	0.0914	0.0044	3.3040	0.1600	0.2609	0.0058	0.2526	1494.2	30	1481	39	1458	58	1458	30
Zircon_46	111.2	59.9	0.1059	0.0053	4.6930	0.2400	0.3179	0.0075	0.1406	1779	37	1765	43	1737	51	1737	37
Zircon_47	683	445	0.0502	0.0029	0.2270	0.0130	0.0325	0.0008	0.2776	206.4	5	207.4	11	245	62	206.4	5
Zircon_48	521	215.2	0.0767	0.0037	1.8790	0.0930	0.1772	0.0039	0.0840	1051.7	21	1073.1	33	1098	59	1051.7	21
Zircon_49	245.4	135.2	0.0502	0.0034	0.2440	0.0160	0.0359	0.0010	0.1570	227.1	6.5	221.6	13	303	77	227.1	6.5
Zircon_50	151.4	30.9	0.0795	0.0042	2.2130	0.1200	0.2023	0.0050	0.1511	1188	27	1184	37	1186	60	1188	27
Zircon_51	157	82.2	0.0962	0.0048	3.8330	0.2000	0.2854	0.0064	0.2207	1618	32	1601	42	1558	49	1558	32
Zircon_52	279	108.7	0.0917	0.0044	3.3190	0.1700	0.2618	0.0058	0.0687	1499.1	29	1486	38	1465	49	1465	29

Zircon_53	406	127	0.0518	0.0035	0.2260	0.0160	0.0315	0.0009	0.3253	199.8	5.4	207	14	318	95	199.8	5.4
Zircon_54	40.9	51.2	0.1863	0.0095	13.6000	0.6800	0.5308	0.0130	0.0199	2744	56	2721	48	2706	39	2706	56
Zircon_55	107.9	56.8	0.0611	0.0037	0.9010	0.0560	0.1071	0.0029	0.1454	656	17	650	30	615	86	656	17
Zircon_56	264	37.1	0.0534	0.0033	0.4460	0.0270	0.0591	0.0016	0.1666	370.3	9.7	376	18	408	58	370.3	9.7
Zircon_57	199.4	70	0.0797	0.0041	2.1640	0.1200	0.1960	0.0046	0.2678	1153	25	1170	37	1189	54	1153	25
Zircon_58	283	90.5	0.0502	0.0038	0.2200	0.0160	0.0314	0.0009	0.0394	199.3	5.9	201	14	319	76	199.3	5.9
Zircon_59	339	41.8	0.0483	0.0038	0.1695	0.0130	0.0253	0.0007	0.1476	160.9	4.6	158.6	11	321	100	160.9	4.6
Zircon_60	234	93.5	0.0774	0.0039	2.1080	0.1100	0.1955	0.0046	0.0593	1151	25	1151	35	1140	53	1151	25
Zircon_61	114	43.7	0.0773	0.0040	2.0600	0.1100	0.1908	0.0044	0.4685	1126	24	1134	37	1120	60	1126	24
Zircon_62	637	457	0.1036	0.0050	4.1610	0.2000	0.2943	0.0067	0.3584	1663	33	1666	40	1693	42	1693	33
Zircon_63	203	141.7	0.0528	0.0040	0.2560	0.0200	0.0349	0.0010	0.2120	221.2	6.2	232	15	321	71	221.2	6.2
Zircon_64	167.2	58.5	0.0900	0.0045	3.1230	0.1600	0.2526	0.0058	0.2193	1452	30	1437	39	1411	71	1411	30
Zircon_65	26.3	22.7	0.0750	0.0069	1.8900	0.1700	0.1808	0.0060	0.0798	1071	33	1081	59	1062	100	1071	33
Zircon_66	134.8	80.8	0.0927	0.0048	3.2830	0.1800	0.2544	0.0062	0.3038	1461	32	1475	41	1492	57	1492	32
Zircon_67	52.2	2.66	0.0719	0.0054	1.7600	0.1400	0.1752	0.0052	0.2851	1040	29	1022	51	1008	79	1040	29
Zircon_68	767	423	0.0536	0.0030	0.2847	0.0160	0.0388	0.0010	0.0364	245.1	6	254.2	13	364	66	245.1	6
Zircon_69	188	91	0.0522	0.0040	0.2520	0.0180	0.0354	0.0012	0.0687	224.2	7.5	230	14	314	72	224.2	7.5
Zircon_70	177.2	47.1	0.1146	0.0058	5.0200	0.2600	0.3170	0.0073	0.1153	1775	36	1820	44	1877	58	1877	36
Zircon_71	738	398	0.0510	0.0030	0.1864	0.0110	0.0267	0.0006	0.0916	169.8	3.9	173.4	9.4	277	76	169.8	3.9
Zircon_72	39.7	28.6	0.0754	0.0047	1.8490	0.1200	0.1776	0.0055	0.2105	1054	30	1067	45	1081	76	1054	30
Zircon_73	194.5	54.5	0.0520	0.0047	0.2400	0.0190	0.0334	0.0010	0.2231	211.7	6.3	218	16	376	75	211.7	6.3
Zircon_74	1803	94	0.0521	0.0026	0.2381	0.0120	0.0331	0.0008	0.1471	209.7	4.7	216.8	9.8	296	57	209.7	4.7
Zircon_75	614	158.8	0.1086	0.0053	4.5930	0.2300	0.3069	0.0068	0.2620	1726	33	1751	44	1790	78	1790	33
Zircon_76	201.5	124	0.0927	0.0048	3.1130	0.1600	0.2457	0.0058	0.2680	1416	30	1434	41	1470	64	1470	30
Zircon_77	239.8	124.5	0.0754	0.0038	1.9290	0.0980	0.1845	0.0044	0.1757	1091	24	1090	34	1087	59	1091	24
Zircon_78	623	190	0.0531	0.0034	0.2700	0.0170	0.0371	0.0010	0.0773	234.5	6.2	242.5	14	350	77	234.5	6.2
Zircon_79	420	144.5	0.0523	0.0031	0.3240	0.0190	0.0454	0.0011	0.0162	286	6.9	284.5	14	325	80	286	6.9
Zircon_80	180.2	71.4	0.0753	0.0040	2.0220	0.1100	0.1922	0.0046	0.1226	1133	25	1124	37	1086	72	1133	25
Zircon_81	397	212	0.0506	0.0033	0.2380	0.0160	0.0342	0.0009	0.0175	217	5.5	216.4	13	222	63	217	5.5

Zircon_82	124.8	92.9	0.0442	0.0051	0.1830	0.0220	0.0286	0.0009	0.0287	181.6	5.8	175	19	381	93	181.6	5.8
Zircon_83	243.6	113.1	0.0536	0.0041	0.2560	0.0190	0.0348	0.0010	0.0633	220.3	6.2	230	16	479	72	220.3	6.2
Zircon_84	523	89.8	0.0602	0.0037	0.5400	0.0330	0.0645	0.0018	0.0699	403	11	438	21	634	70	403	11
Zircon_85	75.1	31.1	0.1226	0.0074	5.0700	0.3300	0.3033	0.0100	0.5159	1707	50	1835	60	1991	55	1991	50
Zircon_86	1520	644	0.0907	0.0043	2.0750	0.1000	0.1645	0.0039	0.7391	982	22	1142.8	39	1435.4	53	982	22
Zircon_87	197.1	197	0.0490	0.0038	0.2260	0.0170	0.0337	0.0010	0.2106	213.7	6.4	207	14	333	94	213.7	6.4
Zircon_88	406	122.9	0.0524	0.0036	0.2370	0.0160	0.0328	0.0008	0.0854	208	5.2	215.1	13	375	59	208	5.2
Zircon_89	112.6	68.5	0.0897	0.0048	3.1260	0.1700	0.2500	0.0067	0.0031	1438	34	1437	41	1437	52	1437	34
Zircon_90	204.6	130.3	0.0503	0.0046	0.1950	0.0170	0.0288	0.0008	0.0250	182.7	5.3	180	14	416	94	182.7	5.3
Zircon_91	65.3	72.2	0.1558	0.0079	9.7300	0.5000	0.4554	0.0110	0.2809	2423	49	2411	46	2403	54	2403	49
Zircon_92	327	113.8	0.0499	0.0037	0.2330	0.0170	0.0345	0.0009	0.2818	218.3	5.8	213	14	326	84	218.3	5.8
Zircon_93	223	114.9	0.0895	0.0047	3.1380	0.1600	0.2561	0.0066	0.2761	1470	34	1441	40	1422	42	1422	34
Zircon_94	497	185	0.0506	0.0032	0.2345	0.0150	0.0337	0.0008	0.0685	213.8	4.9	213.6	12	295	81	213.8	4.9
Zircon_95	221.2	149.5	0.0883	0.0044	3.0760	0.1600	0.2521	0.0057	0.0559	1449	30	1430	39	1396	53	1396	30
Zircon_96	138	107.7	0.0643	0.0061	0.2840	0.0250	0.0322	0.0013	0.0316	204.4	8.3	252	19	820	130	204.4	8.3
Zircon_97	94.5	85.7	0.0530	0.0062	0.2550	0.0280	0.0360	0.0013	0.0268	228.2	8.2	228	23	527	90	228.2	8.2
Zircon_98	249	85.4	0.1142	0.0055	5.4710	0.2700	0.3462	0.0077	0.1612	1916	37	1897	44	1873	64	1873	37
Zircon_99	144.8	93.9	0.0950	0.0049	3.3370	0.1700	0.2556	0.0062	0.1155	1467	32	1491	39	1537	61	1537	32
Zircon_100	123.7	40.7	0.0778	0.0040	2.1090	0.1100	0.1964	0.0047	0.3383	1156	25	1150	37	1153	52	1156	25

Anexo 3 U–Pb relaciones isotópicas y edades de zircón detrítico de la muestra RBMF 2.

RBMF 2	RELACIONES CORREGIDAS								EIDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s	Mejor edad (Ma)	±2s
Zircon-001	138.0	139	0.0498	0.0034	0.2440	0.0150	0.0355	0.0007	0.1725	224.8	4.4	221.0	12.0	160.0	150.0	224.8	4.4
Zircon-002	173.0	117.5	0.0884	0.0040	2.9700	0.1200	0.2480	0.0026	0.0642	1428.0	13.0	1400.0	29.0	1385.0	87.0	1385.0	87.0
Zircon-003	88.5	75.8	0.0545	0.0041	0.2480	0.0190	0.0357	0.0008	0.2481	226.4	4.8	224.0	16.0	340.0	160.0	226.4	4.8
Zircon-004	101.6	69.5	0.0911	0.0042	3.1000	0.1300	0.2522	0.0035	0.5720	1450.0	18.0	1437.0	32.0	1440.0	92.0	1440.0	92.0
Zircon-005	404.0	458	0.0504	0.0025	0.2390	0.0110	0.0347	0.0004	0.1149	220.0	2.8	217.0	8.7	230.0	110.0	220.0	2.8
Zircon-006	235.0	184	0.0869	0.0038	2.9700	0.1100	0.2525	0.0028	0.3990	1451.0	14.0	1399.0	29.0	1357.0	85.0	1357.0	85.0
Zircon-008	360.0	403	0.0504	0.0030	0.2440	0.0120	0.0352	0.0005	0.2176	222.7	3.2	221.0	10.0	220.0	130.0	222.7	3.2
Zircon-010	376.0	228	0.0501	0.0051	0.1890	0.0190	0.0273	0.0006	0.0158	173.8	3.6	175.0	16.0	210.0	150.0	173.8	3.6
Zircon-012	65.8	49.3	0.0916	0.0047	3.1600	0.1700	0.2518	0.0034	0.4829	1448.0	17.0	1437.0	41.0	1440.0	100.0	1440.0	100.0
Zircon-013	91.0	43.1	0.0492	0.0042	0.2390	0.0190	0.0356	0.0008	0.1034	225.4	5.2	217.0	16.0	170.0	180.0	225.4	5.2
Zircon-014	68.4	87.8	0.0501	0.0034	0.2250	0.0150	0.0330	0.0008	0.2144	209.2	5.1	205.0	12.0	210.0	150.0	209.2	5.1
Zircon-015	86.1	140	0.0507	0.0047	0.2450	0.0210	0.0349	0.0010	0.0863	221.1	6.3	221.0	16.0	200.0	180.0	221.1	6.3
Zircon-016	472.0	250	0.0487	0.0027	0.1951	0.0096	0.0290	0.0004	0.1183	184.2	2.4	180.7	8.6	120.0	130.0	184.2	2.4
Zircon-017	833.0	369	0.0573	0.0029	0.2500	0.0110	0.0313	0.0004	0.1084	198.4	2.2	226.3	8.7	510.0	110.0	198.4	2.2
Zircon-018	108.3	76.7	0.0599	0.0058	0.2900	0.0270	0.0347	0.0011	0.1036	219.8	7.1	258.0	21.0	590.0	200.0	219.8	7.1
Zircon-019	62.1	57.8	0.0498	0.0051	0.2300	0.0230	0.0339	0.0010	0.1503	214.7	6.5	211.0	20.0	130.0	210.0	214.7	6.5
Zircon-020	120.7	90.6	0.0510	0.0042	0.2470	0.0190	0.0353	0.0008	0.0537	223.8	5.0	225.0	15.0	250.0	160.0	223.8	5.0
Zircon-021	149.0	134	0.0484	0.0037	0.2370	0.0170	0.0353	0.0005	0.2383	223.4	3.1	215.0	14.0	90.0	160.0	223.4	3.1
Zircon-023	472.0	831	0.0483	0.0028	0.1870	0.0100	0.0281	0.0004	0.0045	178.4	2.7	174.1	8.7	120.0	130.0	178.4	2.7
Zircon-024	209.0	148	0.0469	0.0032	0.1830	0.0130	0.0276	0.0005	0.0866	175.4	2.9	170.0	11.0	80.0	140.0	175.4	2.9
Zircon-025	136.0	95.3	0.0895	0.0040	3.1900	0.1300	0.2560	0.0030	0.3319	1469.0	15.0	1454.0	31.0	1409.0	84.0	1409.0	84.0
Zircon-026	226.0	126.5	0.0503	0.0038	0.2140	0.0140	0.0307	0.0006	0.0463	195.0	3.8	196.0	12.0	170.0	160.0	195.0	3.8
Zircon-027	29.7	11.8	0.1057	0.0054	4.4000	0.2300	0.3012	0.0072	0.3985	1697.0	36.0	1708.0	48.0	1711.0	94.0	1711.0	94.0

Zircon-028	288.0	260	0.0503	0.0029	0.1890	0.0100	0.0270	0.0004	0.0818	171.6	2.6	175.2	8.8	210.0	130.0	171.6	2.6
Zircon-029	157.6	203	0.0490	0.0036	0.2440	0.0160	0.0356	0.0006	0.0167	225.7	3.7	221.0	13.0	120.0	160.0	225.7	3.7
Zircon-030	219.0	141.5	0.0887	0.0039	3.1700	0.1200	0.2572	0.0026	0.5359	1475.0	13.0	1448.0	30.0	1394.0	84.0	1394.0	84.0
Zircon-031	203.0	95.5	0.1043	0.0045	4.5500	0.1800	0.3133	0.0037	0.0536	1757.0	18.0	1739.0	32.0	1698.0	80.0	1698.0	80.0
Zircon-032	187.6	171.6	0.0515	0.0038	0.2590	0.0170	0.0358	0.0005	0.1301	226.8	3.1	233.0	14.0	260.0	160.0	226.8	3.1
Zircon-033	156.9	136.9	0.0497	0.0032	0.2480	0.0150	0.0360	0.0006	0.2109	227.8	3.7	225.0	12.0	180.0	140.0	227.8	3.7
Zircon-034	362.0	151.9	0.0485	0.0030	0.1840	0.0110	0.0268	0.0004	0.1233	170.3	2.7	172.2	9.4	150.0	120.0	170.3	2.7
Zircon-035	198.0	192	0.0491	0.0028	0.2350	0.0130	0.0346	0.0006	0.2919	219.4	3.5	214.0	10.0	130.0	130.0	219.4	3.5
Zircon-036	55.5	63.2	0.0916	0.0058	3.1900	0.2100	0.2535	0.0028	0.3455	1457.0	14.0	1452.0	46.0	1450.0	110.0	1450.0	110.0
Zircon-037	69.6	70.7	0.0922	0.0047	3.1900	0.1400	0.2532	0.0043	0.4738	1455.0	22.0	1458.0	33.0	1461.0	90.0	1461.0	90.0
Zircon-038	372.0	209	0.0494	0.0028	0.2100	0.0110	0.0308	0.0004	0.0857	195.4	2.6	192.9	9.1	150.0	120.0	195.4	2.6
Zircon-039	289.0	204	0.0500	0.0028	0.2390	0.0120	0.0350	0.0005	0.1815	221.7	3.1	217.5	9.8	180.0	120.0	221.7	3.1
Zircon-040	541.0	391	0.0499	0.0026	0.1950	0.0096	0.0281	0.0004	0.1924	178.4	2.4	181.5	8.1	190.0	120.0	178.4	2.4
Zircon-041	175.0	121.4	0.0494	0.0037	0.1890	0.0120	0.0274	0.0006	0.2328	174.2	3.5	175.0	10.0	190.0	160.0	174.2	3.5
Zircon-042	95.0	92.2	0.0489	0.0042	0.2310	0.0180	0.0334	0.0007	0.1443	212.1	4.1	210.0	15.0	200.0	180.0	212.1	4.1
Zircon-043	511.0	245	0.0918	0.0042	2.3300	0.1400	0.1840	0.0100	0.6245	1087.0	59.0	1220.0	51.0	1470.0	83.0	1470.0	83.0
Zircon-044	228.0	325	0.0543	0.0035	0.2600	0.0150	0.0351	0.0006	0.0951	222.2	3.8	234.0	12.0	380.0	140.0	222.2	3.8
Zircon-045	503.0	263	0.0500	0.0029	0.2000	0.0100	0.0288	0.0004	0.1854	183.0	2.3	185.3	8.2	190.0	130.0	183.0	2.3
Zircon-046	305.0	547	0.0488	0.0028	0.2350	0.0130	0.0343	0.0006	0.1983	217.4	3.5	214.0	10.0	150.0	120.0	217.4	3.5
Zircon-047	327.0	411	0.0510	0.0030	0.2510	0.0140	0.0353	0.0006	0.1835	223.5	3.9	227.0	11.0	230.0	130.0	223.5	3.9
Zircon-048	67.4	48.9	0.0524	0.0056	0.2440	0.0240	0.0347	0.0008	0.0511	220.2	5.1	222.0	20.0	240.0	210.0	220.2	5.1
Zircon-049	18.6	14	0.0600	0.0100	0.2860	0.0450	0.0353	0.0017	0.2469	224.0	11.0	248.0	35.0	480.0	330.0	224.0	11.0
Zircon-051	40.6	35.8	0.0524	0.0064	0.2670	0.0270	0.0342	0.0013	0.0587	216.7	8.1	238.0	22.0	320.0	220.0	216.7	8.1
Zircon-052	744.0	312	0.0507	0.0026	0.2470	0.0120	0.0351	0.0006	0.3736	222.2	3.9	224.2	9.3	210.0	110.0	222.2	3.9
Zircon-053	236.0	149.5	0.0484	0.0029	0.1750	0.0100	0.0261	0.0005	0.1154	165.8	2.8	163.8	8.3	110.0	130.0	165.8	2.8
Zircon-054	157.6	98.9	0.0488	0.0035	0.2340	0.0160	0.0341	0.0007	0.2411	216.0	4.4	213.0	13.0	130.0	160.0	216.0	4.4
Zircon-055	84.0	45.9	0.0903	0.0042	3.1500	0.1300	0.2518	0.0030	0.1775	1448.0	15.0	1445.0	31.0	1423.0	90.0	1423.0	90.0
Zircon-056	102.2	71.9	0.0899	0.0043	3.1300	0.1300	0.2536	0.0031	0.2123	1457.0	16.0	1439.0	31.0	1412.0	90.0	1412.0	90.0
Zircon-057	444.0	315	0.0494	0.0028	0.1800	0.0088	0.0267	0.0003	0.0015	169.9	2.2	167.9	7.5	150.0	120.0	169.9	2.2

Zircon-058	90.8	74.1	0.0522	0.0043	0.2380	0.0180	0.0333	0.0006	0.0791	211.3	3.9	218.0	14.0	300.0	160.0	211.3	3.9
Zircon-059	256.0	208	0.0471	0.0031	0.1820	0.0110	0.0276	0.0004	0.0259	175.5	2.7	170.0	10.0	60.0	140.0	175.5	2.7
Zircon-060	185.0	120.7	0.0529	0.0041	0.2600	0.0200	0.0359	0.0006	0.0071	227.4	3.9	234.0	16.0	280.0	170.0	227.4	3.9
Zircon-061	106.1	66.3	0.0508	0.0042	0.2320	0.0180	0.0339	0.0009	0.1142	214.9	5.3	213.0	15.0	190.0	170.0	214.9	5.3
Zircon-062	295.0	307	0.0533	0.0033	0.2560	0.0140	0.0353	0.0005	0.0874	223.5	3.2	233.0	12.0	320.0	140.0	223.5	3.2
Zircon-063	140.1	42.6	0.0535	0.0036	0.4370	0.0270	0.0596	0.0012	0.0227	374.6	7.4	367.0	19.0	340.0	140.0	374.6	7.4
Zircon-065	30.8	41.6	0.0524	0.0078	0.2280	0.0290	0.0333	0.0014	0.0416	211.3	8.8	210.0	25.0	180.0	270.0	211.3	8.8
Zircon-066	278.0	403	0.0508	0.0031	0.2520	0.0150	0.0360	0.0006	0.2625	228.2	3.6	227.0	12.0	240.0	140.0	228.2	3.6
Zircon-067	149.0	69.4	0.0942	0.0042	3.2500	0.1800	0.2523	0.0093	0.5999	1450.0	49.0	1468.0	49.0	1509.0	83.0	1509.0	83.0
Zircon-068	572.0	334	0.0500	0.0026	0.2320	0.0110	0.0341	0.0004	0.1327	216.0	2.6	211.7	8.7	180.0	120.0	216.0	2.6
Zircon-069	255.0	138.1	0.0517	0.0032	0.2330	0.0130	0.0333	0.0006	0.1634	211.4	3.4	212.0	11.0	240.0	140.0	211.4	3.4
Zircon-070	149.0	100.2	0.0515	0.0037	0.2450	0.0150	0.0352	0.0007	0.1598	222.9	4.1	222.0	12.0	220.0	150.0	222.9	4.1
Zircon-071	99.0	79	0.0505	0.0040	0.2410	0.0190	0.0349	0.0007	0.0241	221.0	4.5	218.0	15.0	200.0	170.0	221.0	4.5
Zircon-072	161.0	138	0.0911	0.0044	2.9400	0.1100	0.2382	0.0050	0.1729	1377.0	27.0	1390.0	30.0	1442.0	79.0	1442.0	79.0
Zircon-073	550.0	336	0.0530	0.0030	0.2010	0.0110	0.0280	0.0004	0.3017	178.1	2.5	185.5	9.2	310.0	110.0	178.1	2.5
Zircon-074	225.3	110.1	0.0513	0.0035	0.2120	0.0130	0.0303	0.0005	0.2830	192.5	3.0	195.0	11.0	240.0	150.0	192.5	3.0
Zircon-075	172.5	297	0.0508	0.0043	0.2410	0.0170	0.0346	0.0006	0.3325	219.2	4.0	218.0	14.0	210.0	170.0	219.2	4.0
Zircon-076	207.0	236	0.0518	0.0030	0.2490	0.0120	0.0348	0.0006	0.1513	220.5	3.8	225.4	9.9	270.0	130.0	220.5	3.8
Zircon-077	281.0	290	0.0498	0.0030	0.1920	0.0100	0.0277	0.0005	0.0527	176.2	2.9	180.6	8.7	170.0	120.0	176.2	2.9
Zircon-078	87.4	46.6	0.0574	0.0043	0.6120	0.0400	0.0780	0.0012	0.1112	484.1	7.1	486.0	24.0	490.0	150.0	484.1	7.1
Zircon-079	422.0	560	0.0512	0.0027	0.2150	0.0100	0.0300	0.0005	0.0179	190.4	2.8	197.5	8.7	250.0	130.0	190.4	2.8
Zircon-080	222.0	127	0.0484	0.0039	0.1870	0.0140	0.0282	0.0005	0.2162	179.2	3.1	173.0	12.0	110.0	170.0	179.2	3.1
Zircon-081	400.0	372	0.0497	0.0030	0.1740	0.0097	0.0251	0.0004	0.1391	160.1	2.4	162.6	8.4	190.0	130.0	160.1	2.4
Zircon-082	684.0	341	0.0516	0.0029	0.2160	0.0110	0.0302	0.0004	0.2643	191.7	2.3	198.6	8.7	250.0	120.0	191.7	2.3
Zircon-083	431.0	275	0.0502	0.0029	0.1851	0.0097	0.0269	0.0003	0.1178	171.0	2.0	172.2	8.3	190.0	130.0	171.0	2.0
Zircon-084	231.0	91.5	0.0937	0.0042	2.5900	0.1200	0.2015	0.0057	0.2308	1183.0	31.0	1298.0	35.0	1499.0	74.0	1499.0	74.0

Zircon-085	247.0	184	0.0926	0.0042	3.2300	0.1400	0.2536	0.0087	0.7829	1456.0	46.0	1462.0	36.0	1482.0	84.0	1482.0	84.0
Zircon-086	238.0	163.9	0.0507	0.0034	0.2410	0.0150	0.0344	0.0005	0.0023	218.3	2.8	220.0	13.0	190.0	140.0	218.3	2.8
Zircon-087	79.9	74.5	0.0516	0.0062	0.2130	0.0250	0.0303	0.0008	0.0176	192.7	4.9	197.0	20.0	250.0	220.0	192.7	4.9
Zircon-088	161.2	241	0.0529	0.0040	0.2590	0.0190	0.0357	0.0007	0.0988	226.2	4.3	236.0	16.0	340.0	150.0	226.2	4.3
Zircon-089	80.9	123.3	0.0512	0.0055	0.2270	0.0210	0.0331	0.0007	0.1008	209.8	4.6	212.0	19.0	220.0	220.0	209.8	4.6
Zircon-090	86.5	44.6	0.0736	0.0041	1.5770	0.0920	0.1590	0.0022	0.2180	951.0	12.0	974.0	34.0	1010.0	120.0	951.0	12.0
Zircon-091	98.9	68.8	0.0570	0.0120	0.2330	0.0490	0.0296	0.0007	0.1894	188.0	4.2	211.0	36.0	540.0	270.0	188.0	4.2
Zircon-092	296.0	217	0.0494	0.0031	0.2360	0.0140	0.0344	0.0005	0.1409	217.9	3.1	215.0	12.0	180.0	140.0	217.9	3.1
Zircon-093	165.0	208	0.0499	0.0038	0.2300	0.0170	0.0341	0.0005	0.0289	216.1	3.3	211.0	14.0	240.0	170.0	216.1	3.3
Zircon-094	127.3	34.5	0.0724	0.0035	1.7450	0.0730	0.1756	0.0020	0.0773	1043.0	11.0	1031.0	27.0	983.0	97.0	983.0	97.0
Zircon-095	44.5	44.5	0.0555	0.0065	0.2730	0.0290	0.0361	0.0012	0.1554	228.4	7.8	242.0	23.0	300.0	230.0	228.4	8
Zircon-096	102.2	40.4	0.0787	0.0039	2.1620	0.0970	0.1994	0.0024	0.2063	1172.0	13.0	1172.0	33.0	1167.0	90.0	1167.0	90
Zircon-097	175.7	129.7	0.0516	0.0039	0.1980	0.0140	0.0279	0.0006	0.2279	177.1	3.7	183.0	12.0	270.0	150.0	177.1	4
Zircon-098	65.4	124.7	0.0545	0.0050	0.3580	0.0300	0.0486	0.0010	0.0251	305.8	6.3	309.0	22.0	330.0	190.0	305.8	6
Zircon-099	304.0	203	0.0508	0.0030	0.2550	0.0130	0.0370	0.0005	0.1121	234.2	3.3	231.0	11.0	220.0	130.0	234.2	3
Zircon-100	268.0	388	0.0479	0.0030	0.1890	0.0110	0.0283	0.0004	0.0696	180.0	2.8	175.1	9.5	100.0	140.0	180.0	3

Anexo 4 U–Pb relaciones isotópicas y edades de zircón detrítico de la muestra RBMF 3.

RBMF 3	RELACIONES CORREGIDAS									EIDADES CORREGIDAS							
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2s	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2s	Mejor edad (Ma)	±2s
Zircon_001	219	204	0.0902	0.0093	3.1600	0.3800	0.2495	0.0043	0.1108	1436	22	1445	93	1440	110	1440	110
Zircon_002	167	139	0.0905	0.0094	3.0800	0.3700	0.2445	0.0042	0.0210	1410	22	1427	97	1430	100	1430	100
Zircon_003	103	76	0.0899	0.0093	3.1500	0.3900	0.2517	0.0043	0.2470	1449	21	1446	98	1420	110	1420	110
Zircon_004	69	61	0.0903	0.0095	3.1300	0.3900	0.2481	0.0046	0.2668	1428	24	1438	95	1460	110	1460	110
Zircon_005	137	84	0.0916	0.0095	3.1700	0.3900	0.2495	0.0049	0.1701	1436	25	1453	95	1470	110	1470	110
Zircon_006	179	146	0.0904	0.0093	3.1000	0.3800	0.2493	0.0042	0.1458	1435	21	1431	93	1435	87	1435	87
Zircon_007	182	152	0.0926	0.0094	3.2000	0.3800	0.2531	0.0052	0.4965	1454	27	1460	94	1450	100	1450	100
Zircon_008	191	156	0.0917	0.0094	3.2100	0.3900	0.2519	0.0042	0.1730	1448	22	1460	98	1449	98	1449	98
Zircon_009	290	214	0.0905	0.0092	3.1400	0.3800	0.2518	0.0041	0.1480	1448	21	1442	93	1438	85	1438	85
Zircon_010	143	115	0.0913	0.0094	3.2000	0.3900	0.2524	0.0044	0.4387	1451	23	1458	90	1450	120	1450	120
Zircon_011	154	111	0.0922	0.0095	3.2100	0.3900	0.2522	0.0045	0.5297	1450	23	1461	98	1450	150	1450	150
Zircon_012	713	183	0.0917	0.0094	3.2100	0.3900	0.2535	0.0055	0.6816	1456	28	1461	93	1460	100	1460	100
Zircon_013	161	114	0.0932	0.0096	3.2000	0.4000	0.2509	0.0044	0.1661	1443	23	1459	94	1487	77	1487	77
Zircon_014	166	127	0.0900	0.0093	3.1300	0.3800	0.2523	0.0041	0.1339	1450	21	1441	96	1420	120	1420	120
Zircon_015	42	41	0.0924	0.0098	3.2700	0.4100	0.2598	0.0050	0.3005	1489	25	1478	92	1490	120	1490	120
Zircon_016	205	164	0.0914	0.0093	3.1600	0.3800	0.2524	0.0043	0.5453	1451	22	1446	93	1460	120	1460	120
Zircon_017	130	83	0.0925	0.0096	3.2100	0.3900	0.2534	0.0047	0.2737	1456	24	1460	98	1480	120	1480	120
Zircon_019	140	110	0.0907	0.0094	3.1200	0.3800	0.2498	0.0056	0.5879	1437	29	1440	100	1440	160	1440	160
Zircon_020	121	94	0.0910	0.0120	3.1700	0.4800	0.2531	0.0050	0.0827	1454	26	1450	110	1460	170	1460	170
Zircon_021	178	135	0.0913	0.0093	3.1900	0.3900	0.2517	0.0046	0.5323	1447	24	1454	93	1460	82	1460	82
Zircon_022	126	97	0.0915	0.0095	3.1700	0.3900	0.2525	0.0046	0.1481	1451	23	1448	94	1470	110	1470	110
Zircon_023	331	243	0.0913	0.0094	3.1300	0.3800	0.2500	0.0041	0.2964	1438	21	1440	93	1450	100	1450	100
Zircon_024	110	75	0.0877	0.0092	3.0300	0.3700	0.2470	0.0042	0.3670	1423	22	1413	94	1400	110	1400	110
Zircon_025	250	29	0.0892	0.0089	3.0200	0.3600	0.2468	0.0046	0.5590	1422	24	1412	92	1380	110	1380	110
Zircon_026	295	245	0.0837	0.0086	2.8900	0.3500	0.2506	0.0040	0.3385	1441	20	1380	100	1300	120	1300	120

Zircon_033	72	56	0.0933	0.0099	3.2400	0.4000	0.2540	0.0049	0.2292	1459	25	1470	100	1500	150	1500	150
Zircon_034	34	35	0.0926	0.0096	3.2600	0.4100	0.2559	0.0055	0.1003	1469	28	1469	98	1446	91	1446	91
Zircon_035	135	95	0.0856	0.0088	2.9300	0.3500	0.2458	0.0041	0.1821	1417	21	1387	92	1330	110	1330	110
Zircon_036	100	82	0.0855	0.0090	2.9800	0.3700	0.2523	0.0044	0.2230	1450	22	1409	92	1334	89	1334	89
Zircon_037	182	149	0.0884	0.0091	3.1000	0.3800	0.2526	0.0043	0.2802	1452	22	1432	94	1390	140	1390	140
Zircon_038	104	83	0.0901	0.0094	3.1000	0.3800	0.2489	0.0047	0.0788	1433	24	1437	94	1410	110	1410	110
Zircon_039	81	62	0.0867	0.0091	3.1100	0.3800	0.2529	0.0043	0.1428	1453	22	1431	94	1390	140	1390	140
Zircon_040	241	105	0.0883	0.0090	3.0700	0.3700	0.2512	0.0041	0.2580	1445	21	1424	93	1399	95	1399	95
Zircon_041	44	45	0.0905	0.0097	3.1600	0.4000	0.2542	0.0051	0.1042	1460	26	1443	96	1440	110	1440	110
Zircon_042	174	134	0.0892	0.0092	3.0300	0.3700	0.2485	0.0041	0.1978	1431	21	1416	93	1398	96	1398	96
Zircon_043	103	93	0.0922	0.0095	3.1900	0.3900	0.2517	0.0044	0.1886	1447	23	1454	94	1460	130	1460	130
Zircon_044	123	117	0.0923	0.0095	3.2500	0.3900	0.2553	0.0046	0.4029	1465	24	1468	91	1460	110	1460	110
Zircon_045	106	85	0.0880	0.0091	3.0400	0.3700	0.2482	0.0042	0.1394	1429	22	1415	95	1376	98	1376	98
Zircon_046	186	101	0.0907	0.0093	3.2200	0.3900	0.2568	0.0046	0.3278	1476	24	1460	93	1440	120	1440	120
Zircon_047	110	77	0.0913	0.0096	3.0800	0.3800	0.2485	0.0046	0.2047	1430	24	1426	94	1441	99	1441	99
Zircon_048	162	179	0.0964	0.0097	1.9600	0.2900	0.1507	0.0090	0.0926	905	49	1101	90	1530	120	1530	120
Zircon_049	128	90	0.0893	0.0092	3.1400	0.3800	0.2556	0.0045	0.1455	1467	23	1442	94	1420	120	1420	120
Zircon_050	199	155	0.0903	0.0092	3.1800	0.3900	0.2559	0.0045	0.4933	1469	23	1452	94	1430	130	1430	130
Zircon_051	64	69	0.0895	0.0093	3.0700	0.3800	0.2499	0.0051	0.3002	1438	26	1426	98	1410	100	1410	100
Zircon_052	84	53	0.0905	0.0094	3.1400	0.3900	0.2517	0.0046	0.3606	1447	24	1441	95	1450	110	1450	110
Zircon_053	72	57	0.0930	0.0097	3.3900	0.4200	0.2633	0.0050	0.3361	1506	26	1500	96	1490	110	1490	110
Zircon_054	127	87	0.0923	0.0095	3.2300	0.3900	0.2517	0.0049	0.5567	1447	25	1464	98	1470	110	1470	110
Zircon_055	97	87	0.1080	0.0110	3.9000	0.4800	0.2599	0.0045	0.1673	1489	23	1610	99	1770	130	1770	130
Zircon_056	134	97	0.0912	0.0094	3.1400	0.3800	0.2474	0.0044	0.5083	1425	23	1445	98	1464	88	1464	88
Zircon_057	51	44	0.0896	0.0097	3.0500	0.3800	0.2464	0.0051	0.0080	1419	26	1422	93	1446	95	1446	95
Zircon_058	518	358	0.0913	0.0093	3.0100	0.3600	0.2390	0.0036	0.3627	1382	19	1410	92	1450	120	1450	120
Zircon_059	438	299	0.0910	0.0093	3.0600	0.3700	0.2453	0.0040	0.1118	1414	21	1422	93	1442	79	1442	79
Zircon_060	122	99	0.0882	0.0091	3.2000	0.3900	0.2620	0.0046	0.3931	1500	24	1458	90	1396	99	1396	99
Zircon_061	165	124	0.0926	0.0095	3.2400	0.3900	0.2538	0.0044	0.2149	1458	23	1468	97	1470	140	1470	140
Zircon_062	65	88	0.0902	0.0096	3.1900	0.3900	0.2563	0.0049	0.1564	1471	25	1460	100	1440	120	1440	120
Zircon_063	183	188	0.0927	0.0095	3.0700	0.3700	0.2393	0.0040	0.4102	1383	21	1424	93	1472	90	1472	90

Zircon_064	89	65	0.0907	0.0094	3.1600	0.3900	0.2515	0.0047	0.0982	1446	24	1450	91	1450	120	1450	120
Zircon_065	157	116	0.0899	0.0093	3.1900	0.3900	0.2566	0.0045	0.1434	1472	23	1453	93	1420	120	1420	120
Zircon_066	163	98	0.0922	0.0095	3.2600	0.4000	0.2554	0.0045	0.1275	1466	23	1471	95	1458	99	1458	99
Zircon_067	284	227	0.0910	0.0093	3.2100	0.3900	0.2542	0.0045	0.5039	1460	23	1459	94	1440	120	1440	120
Zircon_068	170	144	0.0896	0.0092	3.1100	0.3800	0.2515	0.0045	0.4181	1446	23	1436	97	1430	110	1430	110
Zircon_069	250	163	0.0960	0.0100	3.4200	0.4200	0.2580	0.0047	0.6227	1479	24	1507	95	1550	130	1550	130
Zircon_070	181	160	0.0914	0.0094	3.2400	0.3900	0.2568	0.0046	0.2065	1473	24	1467	98	1460	130	1460	130
Zircon_071	110	78	0.0901	0.0094	3.2500	0.4000	0.2643	0.0055	0.1608	1511	28	1478	99	1440	120	1440	120
Zircon_072	151	233	0.0932	0.0098	3.2900	0.4100	0.2544	0.0045	0.1419	1461	23	1480	91	1480	110	1480	110
Zircon_073	229	217	0.0918	0.0095	3.1900	0.3900	0.2545	0.0047	0.1548	1461	24	1454	94	1440	110	1440	110
Zircon_074	193	140	0.0922	0.0096	3.1800	0.3900	0.2513	0.0044	0.1428	1445	23	1456	94	1480	130	1480	130
Zircon_075	206	165	0.0910	0.0094	3.1100	0.3800	0.2499	0.0041	0.0659	1438	21	1434	93	1440	95	1440	95
Zircon_076	67	68	0.1060	0.0120	3.7400	0.4800	0.2572	0.0050	0.4959	1475	26	1570	100	1710	110	1710	110
Zircon_077	449	405	0.0909	0.0093	3.1300	0.3900	0.2497	0.0042	0.2855	1437	22	1438	95	1440	110	1440	110
Zircon_078	190	135	0.0908	0.0095	3.0600	0.3800	0.2450	0.0042	0.1843	1413	22	1421	94	1454	82	1454	82
Zircon_079	297	309	0.0888	0.0091	3.0400	0.3700	0.2484	0.0040	0.1323	1430	21	1418	93	1410	110	1410	110
Zircon_080	256	241	0.0886	0.0092	3.0200	0.3700	0.2467	0.0044	0.3561	1421	23	1410	95	1400	140	1400	140
Zircon_081	288	237	0.0884	0.0091	3.0300	0.3700	0.2492	0.0043	0.3296	1434	22	1415	89	1390	130	1390	130
Zircon_082	520	428	0.0891	0.0091	3.1600	0.3800	0.2558	0.0045	0.4412	1468	23	1447	93	1404	98	1404	98
Zircon_083	270	159	0.0901	0.0093	3.1100	0.3800	0.2495	0.0042	0.0755	1436	22	1435	93	1419	93	1419	93
Zircon_084	219	164	0.0883	0.0091	3.0500	0.3700	0.2504	0.0043	0.1042	1440	22	1420	93	1380	110	1380	110
Zircon_085	185	166	0.0889	0.0091	3.1400	0.3800	0.2580	0.0046	0.2360	1479	24	1444	99	1390	100	1390	100
Zircon_086	282	214	0.0903	0.0092	3.1300	0.3800	0.2501	0.0041	0.2008	1439	21	1439	93	1430	100	1430	100
Zircon_087	264	210	0.0892	0.0092	3.0700	0.3700	0.2493	0.0044	0.0770	1435	23	1426	97	1420	100	1420	100
Zircon_088	164	151	0.0889	0.0093	3.2200	0.3900	0.2622	0.0044	0.1218	1501	23	1461	95	1380	120	1380	120
Zircon_089	249	204	0.0883	0.0091	3.1400	0.3800	0.2544	0.0043	0.0941	1461	22	1442	94	1406	98	1406	98
Zircon_090	123	112	0.0922	0.0097	3.3800	0.4200	0.2682	0.0055	0.1622	1531	28	1506	96	1470	120	1470	120
Zircon_091	361	284	0.0919	0.0094	3.2800	0.4000	0.2581	0.0048	0.4727	1480	24	1476	94	1475	83	1475	83
Zircon_092	101	106	0.0905	0.0095	3.2300	0.3900	0.2578	0.0044	0.0302	1478	23	1465	98	1420	130	1420	130
Zircon_093	155	140	0.0912	0.0095	3.1500	0.3800	0.2495	0.0044	0.1462	1436	23	1443	94	1460	130	1460	130
Zircon_094	197	161	0.0907	0.0093	3.2500	0.4000	0.2601	0.0046	0.4756	1490	24	1470	92	1430	110	1430	110

Zircon_095	188	158	0.1000	0.0110	3.5200	0.4400	0.2581	0.0048	0.1954	1480	25	1532	94	1610	170	1610	170
Zircon_096	291	200	0.0901	0.0092	3.1300	0.3800	0.2515	0.0041	0.1028	1446	21	1440	93	1426	81	1426	81
Zircon_097	324	198	0.0908	0.0093	3.1500	0.3800	0.2498	0.0044	0.3753	1437	22	1443	94	1430	120	1430	120
Zircon_098	183	148	0.0906	0.0093	3.2800	0.4000	0.2608	0.0046	0.1867	1496	24	1475	94	1440	130	1440	130
Zircon_099	212	187	0.0899	0.0093	3.1500	0.3800	0.2524	0.0044	0.3097	1451	23	1443	94	1440	130	1440	130
Zircon_100	284	267	0.0913	0.0094	3.2100	0.3900	0.2534	0.0042	0.3957	1456	22	1458	94	1460	120	1460	120

Anexo 5 U–Pb relaciones isotópicas y edades de zircón detrítico de la muestra RBMF 28.

	RELACIONES CORREGIDAS									EDADES CORREGIDAS							
	U (ppm)1	Th (ppm)1	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	± %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	± %	error correct	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	± (Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	± (Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	± (Ma)	Mejor edad (Ma)	± (Ma)
Zircon_1	164	170.8	16.6480	3.8901	0.8180	6.7100	0.0988	5.4673	0.8148	607.1	31.7	606.9	30.7	606.0	84.2	607.1	31.7
Zircon_2	143	46.8	13.2431	1.6102	1.9230	4.7276	0.1847	4.4449	0.9402	1092.6	44.7	1089.1	31.6	1082.1	32.3	1082.1	32.3
Zircon_3	530	252.4	20.2449	3.6390	0.2510	6.4593	0.0369	5.3367	0.8262	233.3	12.2	227.4	13.2	166.6	85.1	233.3	12.2
Zircon_5	84	56.5	5.2975	0.5733	14.0662	5.9226	0.5404	5.8948	0.9953	2785.3	133.3	2754.2	56.2	2731.5	9.4	2731.5	9.4
Zircon_6	329	170.6	16.5770	1.1352	0.8109	7.2738	0.0975	7.1847	0.9877	599.7	41.1	603.0	33.1	615.2	24.5	599.7	41.1
Zircon_7	212	48.7	11.2132	0.9714	2.9157	9.4584	0.2371	9.4084	0.9947	1371.7	116.3	1386.0	71.6	1408.0	18.6	1408.0	18.6
Zircon_9	351	55.4	17.6730	1.6656	0.6231	5.0906	0.0799	4.8104	0.9450	495.3	22.9	491.8	19.8	475.3	36.8	495.3	22.9
Zircon_10	246	173.6	19.6502	4.8335	0.3726	5.5957	0.0531	2.8193	0.5038	333.6	9.2	321.6	15.4	235.9	111.6	333.6	9.2
Zircon_12	180	79.5	13.6828	1.4129	1.7998	4.9061	0.1786	4.6982	0.9576	1059.3	45.9	1045.4	32.0	1016.3	28.6	1016.3	28.6
Zircon_13	102	37.2	9.8030	1.2512	4.0264	4.6933	0.2863	4.5235	0.9638	1622.9	64.9	1639.6	38.2	1661.0	23.2	1661.0	23.2
Zircon_14	141	63.9	9.9629	1.0071	4.1574	4.3562	0.3004	4.2382	0.9729	1693.3	63.1	1665.7	35.7	1631.0	18.7	1631.0	18.7
Zircon_16	113	65.5	7.6230	0.3266	6.9631	4.6897	0.3850	4.6783	0.9976	2099.5	83.8	2106.7	41.7	2113.8	5.7	2113.8	5.7
Zircon_17	316	120.7	17.7693	3.1173	0.5458	4.2095	0.0703	2.8289	0.6720	438.2	12.0	442.3	15.1	463.3	69.1	438.2	12.0
Zircon_18	186	113.9	13.0716	1.0483	1.8939	4.4534	0.1796	4.3282	0.9719	1064.5	42.5	1079.0	29.6	1108.2	21.0	1108.2	21.0
Zircon_19	647	346.8	20.1830	6.5229	0.1288	8.4621	0.0188	5.3905	0.6370	120.4	6.4	123.0	9.8	173.8	152.3	120.4	6.4
Zircon_20	186	100.2	11.7244	0.8673	2.6599	4.0041	0.2262	3.9090	0.9763	1314.5	46.5	1317.4	29.6	1322.2	16.8	1322.2	16.8
Zircon_21	101	65.9	9.4997	1.3020	4.3289	5.5178	0.2983	5.3620	0.9718	1682.6	79.4	1698.9	45.5	1719.0	23.9	1719.0	23.9
Zircon_22	328	89.8	11.2251	0.7360	2.9050	1.4898	0.2365	1.2953	0.8695	1368.5	16.0	1383.2	11.3	1406.0	14.1	1406.0	14.1
Zircon_23	211	131.5	9.7048	0.5776	4.2415	2.1117	0.2985	2.0312	0.9619	1684.1	30.1	1682.1	17.4	1679.6	10.7	1679.6	10.7
Zircon_24	213	178.0	17.9565	3.4076	0.5019	3.6585	0.0654	1.3314	0.3639	408.2	5.3	413.0	12.4	440.0	75.8	408.2	5.3
Zircon_25	151	76.2	5.5319	0.2428	12.4608	3.2868	0.4999	3.2778	0.9973	2613.5	70.4	2639.8	30.9	2659.9	4.0	2659.9	4.0
Zircon_26	87	43.4	24.2959	44.1469	0.1830	44.4240	0.0322	4.9543	0.1115	204.6	10.0	170.6	69.9	-277.7	1173.2	204.6	10.0
Zircon_27	205	150.1	19.2239	11.8500	0.2247	12.4625	0.0313	3.8589	0.3096	198.9	7.6	205.8	23.2	286.2	271.8	198.9	7.6
Zircon_28	133	52.8	12.0452	1.6514	2.4628	3.0690	0.2152	2.5868	0.8429	1256.2	29.5	1261.2	22.2	1269.7	32.2	1269.7	32.2
Zircon_31	94	55.7	13.4079	2.1482	1.7423	5.3392	0.1694	4.8879	0.9155	1009.0	45.7	1024.3	34.5	1057.3	43.3	1057.3	43.3
Zircon_32	164	68.0	14.6564	2.2850	1.3687	3.4729	0.1455	2.6153	0.7531	875.6	21.4	875.6	20.4	875.5	47.3	875.6	21.4

Zircon_33	78	58.6	18.5229	9.0191	0.5341	9.8773	0.0717	4.0270	0.4077	446.7	17.4	434.5	34.9	370.5	203.5	446.7	17.4
Zircon_34	260	62.2	13.6041	1.3281	1.7732	3.7871	0.1750	3.5466	0.9365	1039.4	34.0	1035.7	24.6	1027.9	26.9	1027.9	26.9
Zircon_35	117	73.6	9.8149	0.8785	4.1428	3.2168	0.2949	3.0945	0.9620	1666.0	45.4	1662.8	26.3	1658.8	16.3	1658.8	16.3
Zircon_36	236	117.2	8.4040	0.2903	5.9291	3.2663	0.3614	3.2534	0.9960	1988.8	55.7	1965.5	28.4	1941.1	5.2	1941.1	5.2
Zircon_37	120	93.2	12.4082	4.1632	2.2111	7.0239	0.1990	5.6571	0.8054	1169.8	60.5	1184.6	49.1	1211.5	82.0	1211.5	82.0
Zircon_38	203	65.3	12.6363	0.8143	2.1168	4.5434	0.1940	4.4699	0.9838	1143.0	46.8	1154.3	31.3	1175.6	16.1	1175.6	16.1
Zircon_39	169	214.3	14.0282	1.5111	1.6060	3.6355	0.1634	3.3065	0.9095	975.6	29.9	972.6	22.8	965.6	30.8	965.6	30.8
Zircon_41	213	94.4	13.5424	1.4707	1.7694	5.3569	0.1738	5.1511	0.9616	1032.9	49.2	1034.3	34.8	1037.1	29.7	1037.1	29.7
Zircon_42	257	120.5	10.9832	0.6545	3.0436	5.2129	0.2424	5.1716	0.9921	1399.4	65.1	1418.6	39.9	1447.6	12.5	1447.6	12.5
Zircon_43	113	75.2	9.6349	1.1476	4.3523	3.6829	0.3041	3.4995	0.9502	1711.8	52.6	1703.3	30.4	1692.9	21.2	1692.9	21.2
Zircon_44	391	50.9	16.3794	1.1086	0.8404	2.7911	0.0998	2.5615	0.9177	613.5	15.0	619.4	12.9	641.1	23.9	613.5	15.0
Zircon_45	111	34.0	11.3305	1.3934	2.9117	3.2169	0.2393	2.8995	0.9013	1382.9	36.1	1385.0	24.3	1388.1	26.7	1388.1	26.7
Zircon_46	134	78.8	19.2500	13.0307	0.2466	14.0958	0.0344	5.3751	0.3813	218.2	11.5	223.8	28.3	283.1	299.2	218.2	11.5
Zircon_47	270	101.0	13.5998	0.9262	1.7418	4.6395	0.1718	4.5461	0.9799	1022.0	43.0	1024.1	29.9	1028.6	18.7	1028.6	18.7
Zircon_48	129	43.5	11.2399	1.6824	3.0196	3.5697	0.2462	3.1483	0.8820	1418.6	40.1	1412.6	27.2	1403.5	32.2	1403.5	32.2
Zircon_49	177	99.2	5.9685	0.5755	11.2890	2.4989	0.4887	2.4317	0.9731	2564.9	51.5	2547.3	23.3	2533.3	9.7	2533.3	9.7
Zircon_50	141	159.8	13.1765	2.8025	1.8618	4.2797	0.1779	3.2345	0.7558	1055.6	31.5	1067.6	28.3	1092.2	56.2	1092.2	56.2
Zircon_51	355	116.6	17.7492	1.8209	0.5379	3.5517	0.0692	3.0494	0.8586	431.6	12.7	437.0	12.6	465.8	40.4	431.6	12.7
Zircon_52	400	112.4	12.6118	0.8979	2.1729	3.3417	0.1988	3.2188	0.9632	1168.6	34.4	1172.4	23.2	1179.4	17.8	1179.4	17.8
Zircon_53	332	323.1	18.9034	2.6881	0.3862	6.3933	0.0530	5.8008	0.9073	332.6	18.8	331.6	18.1	324.5	61.0	332.6	18.8
Zircon_54	115	71.4	13.2654	2.3576	1.8574	5.9131	0.1787	5.4228	0.9171	1059.9	53.0	1066.1	39.0	1078.8	47.3	1078.8	47.3
Zircon_55	249	142.8	18.0027	1.8495	0.5086	4.9601	0.0664	4.6024	0.9279	414.5	18.5	417.5	17.0	434.3	41.2	414.5	18.5
Zircon_56	186	55.6	18.8030	5.8490	0.4486	6.7942	0.0612	3.4570	0.5088	382.8	12.8	376.3	21.4	336.6	132.6	382.8	12.8
Zircon_57	248	32.3	18.5538	4.4928	0.4250	5.7384	0.0572	3.5698	0.6221	358.5	12.4	359.6	17.4	366.7	101.3	358.5	12.4
Zircon_59	173	88.7	9.7234	1.1371	4.1780	2.5733	0.2946	2.3084	0.8971	1664.6	33.9	1669.7	21.1	1676.1	21.0	1676.1	21.0
Zircon_60	161	59.0	12.5930	1.6419	2.2488	3.3811	0.2054	2.9556	0.8742	1204.2	32.5	1196.4	23.8	1182.4	32.4	1182.4	32.4
Zircon_61	196	57.4	13.6160	1.3721	1.7429	4.7010	0.1721	4.4964	0.9565	1023.8	42.6	1024.6	30.3	1026.2	27.8	1026.2	27.8
Zircon_63	263	104.7	17.0624	2.0029	0.7560	4.6959	0.0935	4.2473	0.9045	576.5	23.4	571.7	20.5	552.6	43.7	576.5	23.4
Zircon_64	141	58.3	13.3441	1.3659	1.7926	3.5964	0.1735	3.3269	0.9251	1031.3	31.7	1042.8	23.4	1066.9	27.5	1066.9	27.5
Zircon_65	114	35.1	17.8271	4.4781	0.4956	6.2969	0.0641	4.4268	0.7030	400.4	17.2	408.8	21.2	456.1	99.4	400.4	17.2
Zircon_66	35	30.1	11.4519	3.6353	2.9906	4.8936	0.2484	3.2760	0.6694	1430.2	42.0	1405.2	37.3	1367.6	70.0	1367.6	70.0

Zircon_67	50	47.6	9.9958	1.9255	3.8141	5.1828	0.2765	4.8118	0.9284	1573.8	67.2	1595.7	41.7	1624.8	35.8	1624.8	35.8
Zircon_68	222	90.1	19.0270	7.2334	0.2920	8.4575	0.0403	4.3826	0.5182	254.6	10.9	260.1	19.4	309.7	164.9	254.6	10.9
Zircon_69	365	238.9	19.9568	5.6711	0.1887	6.4719	0.0273	3.1184	0.4818	173.7	5.3	175.5	10.4	200.0	131.8	173.7	5.3
Zircon_70	127	218.4	7.9100	0.5335	6.6629	2.7153	0.3822	2.6624	0.9805	2086.7	47.5	2067.7	24.0	2048.8	9.4	2048.8	9.4
Zircon_71	95	30.6	12.7562	1.4647	2.0512	4.5521	0.1898	4.3100	0.9468	1120.1	44.3	1132.7	31.1	1156.8	29.1	1156.8	29.1
Zircon_72	285	65.1	13.5362	0.8104	1.7572	2.8477	0.1725	2.7299	0.9587	1025.9	25.9	1029.8	18.4	1038.1	16.4	1038.1	16.4
Zircon_73	395	220.3	19.2461	4.3497	0.2395	5.1860	0.0334	2.8240	0.5445	212.0	5.9	218.0	10.2	283.6	99.5	212.0	5.9
Zircon_74	412	234.7	18.3278	2.1633	0.4980	4.5695	0.0662	4.0250	0.8808	413.2	16.1	410.4	15.4	394.3	48.5	413.2	16.1
Zircon_75	156	43.3	18.5996	6.6969	0.4634	9.1386	0.0625	6.2182	0.6804	390.9	23.6	386.6	29.4	361.2	151.2	390.9	23.6
Zircon_76	104	90.3	13.7152	2.0072	1.7428	4.3445	0.1734	3.8531	0.8869	1030.6	36.7	1024.5	28.0	1011.5	40.7	1011.5	40.7
Zircon_78	625	791.2	19.4626	3.7662	0.1905	4.1349	0.0269	1.7067	0.4128	171.1	2.9	177.1	6.7	258.0	86.6	171.1	2.9
Zircon_79	170	71.6	12.3290	0.9686	2.3662	3.4782	0.2116	3.3406	0.9604	1237.3	37.6	1232.5	24.8	1224.1	19.0	1224.1	19.0
Zircon_80	465	73.7	9.4765	0.2758	4.3803	4.3087	0.3011	4.2999	0.9979	1696.5	64.1	1708.6	35.6	1723.5	5.1	1723.5	5.1
Zircon_81	394	169.8	11.7130	0.6728	2.6981	2.5891	0.2292	2.5002	0.9656	1330.3	30.1	1327.9	19.2	1324.1	13.0	1324.1	13.0
Zircon_82	57	46.3	14.1143	4.9278	1.6350	7.0976	0.1674	5.1081	0.7197	997.6	47.2	983.8	44.7	953.1	100.9	953.1	100.9
Zircon_83	103	49.2	16.8453	5.8486	0.7644	7.7977	0.0934	5.1573	0.6614	575.5	28.4	576.5	34.3	580.5	127.2	575.5	28.4
Zircon_84	182	57.1	9.9667	0.7438	3.9006	2.7311	0.2820	2.6279	0.9622	1601.2	37.3	1613.8	22.1	1630.3	13.8	1630.3	13.8
Zircon_85	156	61.7	10.7111	0.6824	3.2933	2.2828	0.2558	2.1784	0.9543	1468.5	28.6	1479.5	17.8	1495.2	12.9	1495.2	12.9
Zircon_86	270	241.8	17.8586	2.4463	0.5268	5.2224	0.0682	4.6140	0.8835	425.5	19.0	429.7	18.3	452.2	54.3	425.5	19.0
Zircon_87	111	71.1	16.7709	6.0060	0.8171	6.7349	0.0994	3.0475	0.4525	610.8	17.8	606.4	30.8	590.1	130.4	610.8	17.8
Zircon_88	216	208.3	19.3103	14.0286	0.2110	14.6090	0.0295	4.0767	0.2791	187.7	7.5	194.4	25.8	275.9	322.7	187.7	7.5
Zircon_89	158	47.8	8.6748	0.5783	5.3511	2.6857	0.3367	2.6227	0.9765	1870.6	42.6	1877.1	23.0	1884.2	10.4	1884.2	10.4
Zircon_90	801	11.1	13.6806	0.5183	1.7494	5.2806	0.1736	5.2551	0.9952	1031.8	50.1	1026.9	34.1	1016.6	10.5	1016.6	10.5
Zircon_91	687	452.7	20.0234	2.8138	0.1813	3.7677	0.0263	2.5057	0.6650	167.5	4.1	169.1	5.9	192.3	65.4	167.5	4.1
Zircon_93	179	88.6	17.3247	2.8550	0.7005	4.4365	0.0880	3.3958	0.7654	543.8	17.7	539.1	18.6	519.2	62.7	543.8	17.7
Zircon_94	637	802.3	20.1309	6.3916	0.1739	7.2012	0.0254	3.3173	0.4607	161.6	5.3	162.8	10.8	179.8	149.1	161.6	5.3
Zircon_95	69	89.0	10.6553	1.6584	3.5379	3.1324	0.2734	2.6574	0.8483	1558.1	36.8	1535.7	24.8	1505.1	31.3	1505.1	31.3
Zircon_96	221	147.8	11.0466	0.6428	3.1648	2.0641	0.2536	1.9614	0.9503	1456.8	25.6	1448.6	15.9	1436.6	12.3	1436.6	12.3
Zircon_97	241	120.6	20.3235	7.7229	0.2031	8.6968	0.0299	3.9988	0.4598	190.1	7.5	187.7	14.9	157.6	181.0	190.1	7.5
Zircon_98	130	66.6	11.2333	1.3650	2.9718	3.6475	0.2421	3.3825	0.9273	1397.7	42.5	1400.4	27.7	1404.6	26.1	1404.6	26.1
Zircon_99	236	110.7	16.9692	4.5586	0.3684	5.6207	0.0453	3.2882	0.5850	285.8	9.2	318.4	15.4	564.5	99.4	285.8	9.2

Anexo 6. Concentraciones de elementos traza y tierras raras (ppm) de zircones en la muestra SAMF 5 de la sección Sierra

Zircones	P	Ti	Y	Hf	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Zircon_001	40	7	1416	10450	96.8	105.5	0.049	43.3	0.207	4.66	6.55	1.04	34	11.41	129.5	50.3	235.5	498	97.2
Zircon_002	280	19	1796	12120	506	471	0.115	41.5	0.337	5.03	7.5	0.95	36.6	12.37	155.3	60.9	286	580	113.4
Zircon_003	180	22	1087	16300	113.9	423	0.092	16.6	0.212	2.42	2.57	0.52	17	6.82	90.9	36.45	179.9	399	76.7
Zircon_004	100	14	1450	16100	251.3	299.7	0.279	56.8	0.289	5.1	18.4	8.9	81	19.3	162	52	193	376	77.2
Zircon_005	-	16	1573	14600	526	690	1.15	60.3	0.374	2.74	2.68	0.94	19.1	7.63	100.6	47	259.1	725	160.3
Zircon_006	1080	30	3790	16300	617	1023	-	94.8	0.178	3.58	9	3.64	55.2	20.8	268	120	594	1520	307
Zircon_007	1680	12	1700	12260	112.8	286	49	121	15.6	96	27	1.34	69	16.7	182	62.7	263	455	77.8
Zircon_008	-	27	718	11720	22.5	50.3	-	8.47	0.099	2.18	3.72	0.37	16.4	6.24	68.4	25.1	112.2	200	36.1
Zircon_010	530	14	1248	10000	37.43	88.2	0.057	8.12	0.156	3.4	7.7	0.42	34.8	10.58	124.1	46.1	182.9	311	54.7
Zircon_011	-	326	700	15870	198	624	0.194	10.4	0.227	2.3	1.74	0.336	9.6	3.71	54.1	23.4	120	317	58.7
Zircon_012	990	33	2166	11450	710	331.9	0.059	86.2	0.223	4.85	8.92	3.44	48.6	16.09	198.5	75.9	336.1	640	114.1
Zircon_013	580	11	1045	13690	160.9	205.1	0.036	32	0.05	1.18	2.55	1.17	13.6	5.07	70.5	32.1	169.6	475	100.5
Zircon_014	830	20	3120	14530	2305	1292	13.4	248	4.1	23	13.1	3.33	58.5	20.34	255.1	105.8	512	1144	217.4
Zircon_015	-	24	2970	19570	674	1230	0.05	54.4	0.181	2.05	5.37	0.72	42.9	16.96	238	104.8	508	1207	204.6
Zircon_016	220	18	1417	14490	352	388	4.9	69.5	1.1	8.4	5.34	1	25.5	9.15	114	47.3	224	527	98.2
Zircon_017	-	21	583	14600	98.7	202.9	0.043	18.23	0.071	1.06	1.6	0.204	10	3.78	45.8	19.7	89.4	197	38.5
Zircon_018	690	21	1280	15960	178.2	467	6.9	40.8	2.58	15.6	5.1	0.351	22.9	7.65	102.5	43	198.6	480	79.9

Zircon_019	10	11	678	11880	76.6	112.1	0.033	19.5	0.087	1.8	3.71	1.03	15.9	4.88	59.4	22.48	99.5	229	42.5
Zircon_020	-	18	758	14220	133.8	233	0.027	22.4	0.083	1.39	2.52	1.07	13.9	4.52	57	22.9	116.3	287	59.8
Zircon_021	80	-	829	12190	123.9	222	0.074	13.1	0.249	4.26	5.66	1.24	29.6	8.1	82.5	28.94	118.6	216.6	37.3
Zircon_022	50	31	1360	12310	248	364	0.032	27	0.098	2.31	3.47	1.01	22.3	7.87	100	43.5	222	565	109
Zircon_023	-	46	753	14610	85.5	86.2	0.037	22.7	0.078	1.19	3.02	0.68	14.5	5.31	63.6	26.1	124.7	280	50.2
Zircon_024	630	5	1286	15480	247	332	0.03	40.4	0.079	1.23	3.08	0.69	20.8	7.97	99.9	42.2	199	455	83.3
Zircon_025	920	41	3449	17900	56	294.4	-	12.81	0.126	2.46	5.59	1.54	41.3	18.48	278.8	118.7	594	1491	264.1
Zircon_026	320	30	770	14530	32.95	50	0.027	7.41	0.171	1.56	2.95	0.15	19.5	6.48	75.4	28.49	124.1	240.9	40.52
Zircon_027	570	5	1102	17590	179.9	572	0.157	18.76	0.278	2.16	2.83	1.05	14.9	5.88	79.3	35.3	186	491	109.3
Zircon_028	260	21	3150	15220	677	504	0.04	78	0.139	3	8.3	2.38	55.1	19.58	252	102.7	496	1025	195.1
Zircon_029	-	29	1967	14470	95.1	65.3	0.048	29.4	0.139	3.15	6.34	1.56	41.3	14.1	179	68.3	302	600	106.3
Zircon_030	320	70	1776	10430	248.6	139.9	0.29	38.4	0.88	10.4	9.9	4.01	54	16.54	179.7	63.1	253.4	419	77.5
Zircon_031	220	25	1024	12600	88	204	0.042	12.7	0.144	2.31	3.13	0.47	18.9	7.04	84.1	35.1	169.5	335	64.4
Zircon_032	570	17	768	12250	37.2	60	0.044	9.23	0.093	1.63	2.78	0.39	16.4	5.38	67.6	26.4	116.2	241	43.4
Zircon_033	300	13	854	14060	488	520	0.018	39.6	0.064	1.11	2.31	0.76	14.6	5.03	60.6	26	129.7	352	78.1
Zircon_034	1760	31	1486	13360	134.7	285.5	29.2	99	11.5	60	13.7	0.82	36.3	10.85	127.1	51	242.7	495	96.4
Zircon_035	90	21	2384	15130	477	823	0.028	71.7	0.159	2.48	5.37	1.34	37.6	13.78	186.2	78	389	947	184.7
Zircon_036	1210	21	1758	15430	90.6	224	-	10.3	0.045	1.54	3.36	0.154	22.4	10.81	140.2	59.2	294.8	616.3	122.1
Zircon_037	850	8	1501	15880	583	775	0.18	68	0.134	2.11	3.04	0.61	18.7	7.44	103	46.3	243	661	136.1
Zircon_038	4200	23	1119	14700	585	621	40	130	9.8	44	10.6	2.1	23.3	6.63	85.6	34.8	180	460	95.6

Zircon_039	620	-	1460	12980	747	648	0.061	54.9	0.173	1.91	4.69	0.89	24.8	8.74	117.7	46.5	233	524	106.7
Zircon_040	-	13	1501	17500	415	575	0.058	27	0.345	5.1	6.1	3.34	34.3	10.3	125.3	49.2	235	586	125.2
Zircon_041	290	20	1002	13270	410.7	594.5	1.33	36.2	0.3	2.12	2.84	0.95	14.9	5	67.2	30.6	161.4	433	96.8
Zircon_042	740	17	1419	12360	64.9	103.9	0.052	15.21	0.231	3.78	6.89	0.85	31.7	10.33	119.6	46.8	210.7	432	78
Zircon_044	-	12	969	14490	557	972	0.043	39.3	0.043	1.14	2.69	0.81	15.7	5.04	69.8	29.9	149	401	86.2
Zircon_045	-	23	1904	14920	161.5	277.9	0.033	13.59	0.103	2.2	4.98	0.62	35.8	12.86	167	65.7	292.1	536	93.7
Zircon_046	1560	22	1516	14650	365	1611	0.071	21.2	0.054	1.5	2.66	1.51	22	7.88	104.8	48.2	253	671	144.2
Zircon_047	530	29	1047	15180	93.9	523	0.052	4.98	0.082	1.97	2.52	0.269	16.4	6.31	80.9	33.6	175.4	428	84.6
Zircon_048	100	27	704	12650	30.8	80	0.033	15.9	0.073	1.36	2.61	0.52	15.3	5.1	60.3	23.8	110.2	227	41
Zircon_049	4600	5	925	14100	171	196	55	150	16.5	75	17.5	1.59	30.6	7.19	77.9	29.7	138	328	64.9
Zircon_050	450	1	655	16680	63.8	354	0.025	6.63	0.043	0.94	2.73	0.331	20.4	7.25	70.2	20.2	70.8	113.6	18.78
Zircon_051	710	30	1369	14530	123.6	155.2	0.024	17.42	0.123	1.98	4.33	0.449	25.8	10.04	122.3	47.7	212.8	418	77.7
Zircon_052	600	7	788	12050	30.8	56.4	0.23	5.9	0.25	2.56	3.05	0.3	18.7	6.21	76.6	28	125.2	237	43.4
Zircon_053	730	20	937	15750	100.9	325	2.8	21.1	0.63	5.4	3.07	0.086	17.6	5.96	78.5	31.5	149.8	326.9	57.6
Zircon_054	1360	35	1641	12850	64.2	120.4	0.03	5.49	0.214	2.95	6.1	0.55	33.2	12.06	146.3	54.7	240.4	471	83.9
Zircon_055	540	18	931	12890	63.6	190	-	11.38	0.066	1.43	2.34	0.103	16.5	6.46	81.3	31.7	139	274	48.5
Zircon_056	380	11	805	12740	178	370	0.047	15.2	0.047	1.61	2.01	0.8	11.7	4.2	55	24	129.3	358	81.1
Zircon_057	70	0	1407	11210	89.5	73.7	0.039	35	0.106	2.37	3.75	1.66	24.6	8.32	109.8	45.9	223.5	502	106.3
Zircon_058	-	3	860	13320	263	541	0.014	22.1	0.044	0.73	1.96	0.64	11.2	3.99	58.3	25.5	140.8	397	93.7
Zircon_059	2400	11	1099	13850	388.3	494	19	83	4.7	23.9	6.4	1.53	21.2	6.79	83.4	34.9	178.8	437	90.6

Zircon_060	120	-	2431	14110	485	651	0.076	77.3	0.098	1.93	4.75	1.13	32.3	12.63	176.8	78.1	396	933	177.8
Zircon_061	1270	22	850	14550	572	1107	0.087	30	0.082	1.72	1.95	1.02	12.8	4.6	55.5	25.6	134.4	434	103.2
Zircon_062	1700	35	1800	15010	79	236.8	-	25.9	0.072	1.17	3.05	0.94	20.5	8.86	126	56.3	311	910	174
Zircon_063	-	14	1899	15340	574	1199	0.6	42.6	0.66	5.5	4.9	1.75	24.7	10.4	141	61.4	317	841	172.6
Zircon_064	-	8	1193	15310	243.8	569	-	23.3	0.016	0.89	1.85	0.143	14.7	6.38	92.8	39.6	196.2	450	83.2
Zircon_065	-	29	604	10630	26.8	58.5	0.02	5.98	0.104	1.76	3.39	0.386	18.4	5.59	60.7	21.1	87.2	158	27.8
Zircon_067	720	17	1514	11550	559	589	-	41.3	0.111	2.36	4.36	1.47	23.5	8.52	110.9	46.9	233	585	115
Zircon_068	850	18	954	15350	468	811	0.05	36.6	0.048	1.02	1.97	1.15	14.7	5.08	68.3	28.8	147	417	92.3
Zircon_069	2750	20	791	13640	154	356	3.5	20.8	0.88	4.4	2.32	0.78	12.9	4.21	57.4	25.1	127.5	342	70.9
Zircon_070	400	29	1101	12290	33.8	97.2	0.08	11.66	0.211	3.86	6.54	1.01	32.8	10.27	110.2	38.8	158.7	284.1	50.4
Zircon_071	210	4	1140	14860	277.9	411.7	1.1	57.5	0.23	3	3.54	0.65	16.1	5.94	78.7	35.8	183.5	488	101.5
Zircon_072	1950	10	1656	15920	437	851	0.074	46.3	0.114	1.65	4.08	0.303	27.3	10.15	135.2	55.2	261	601	109.6
Zircon_073	1060	38	938	15720	105.3	241	0.025	7.93	0.061	1.8	4.3	0.147	21	7.32	90.6	33.4	145.2	258	45
Zircon_074	-	25	1268	14910	143	296.9	0.058	24.8	0.178	2.75	5.14	0.67	29.3	9.91	119.9	45.2	201.7	406	71.5
Zircon_075	-	9	1011	13820	156	311	0.064	15.6	0.142	1.84	4.09	0.72	22.1	7.96	89.5	35.2	154	305	55.3
Zircon_076	1560	28	1809	14270	216.2	258.7	0.059	26.9	0.149	3.42	6.59	0.63	38.5	13.11	162	60.4	271.6	552	96.8
Zircon_077	820	28	1054	12800	44.1	61.6	-	13.3	0.138	3.29	4.58	1.46	25.4	8.9	96.4	36.1	156	313	55
Zircon_078	430	43	2291	11970	81.1	125.8	0.043	8.86	0.341	7.7	12.9	1.29	68.3	20.9	235.2	81.6	337	609	95.3
Zircon_079	10	16	785	14440	103.7	286	0.044	10.41	0.095	1.51	2.33	0.167	14.5	5.22	67.5	26.17	117.9	255.3	45.35
Zircon_080	1630	8	1949	10440	292	232	0.046	91.3	0.373	7.53	10.4	1.67	43.6	13.35	165.8	63.4	287	598	111.2

Zircon_081	2020	20	1628	12990	1062	890	0.02	62.9	0.104	2.63	4.54	1.43	30.3	10.41	127.6	52.8	247	599	117.5
Zircon_082	1110	0	892	12010	139	323	-	20.4	0.021	1.39	1.8	1.08	13.3	4.96	60	26.7	137	386	87.1
Zircon_083	2460	25	1624	13890	507	608	0.046	53	0.085	2.6	4.62	1.17	27.6	9.66	126.4	53.2	255.2	626	113.3
Zircon_084	2120	28	2239	11420	115.2	78.2	0.107	33	0.79	12.4	17	3.5	70.4	20.29	221	79.5	332	566	101.3
Zircon_085	410	30	515	12200	27.9	51.8	0.039	25.5	0.134	2.27	3.21	0.99	16.1	4.4	50.1	17.4	73.1	138.3	22.97
Zircon_086	1920	30	2690	13490	359	318.3	-	46.9	0.47	9.2	12.1	4.4	61.1	19.82	233	89.4	413	915	160.6
Zircon_087	1910	26	1610	15260	147.9	212	0.02	64.2	0.13	2.17	4.68	0.91	30	10.82	138.5	56.5	255	551	97.4
Zircon_088	1700	-	1180	13120	296	356	0.53	40.6	0.19	2.42	3.56	1.58	20.1	6.28	86.8	34.7	182	495	94
Zircon_089	-	38	2110	13700	423	445	0.076	28.6	0.438	6.62	11	2.01	47.2	16.8	191	70.5	313	658	115.1
Zircon_090	-	1	850	15510	214.6	703	0.039	3.83	0.05	1.12	1.82	0.11	11.2	4.47	59	26.14	128.8	327	62.9
Zircon_091	2170	3	1096	13420	148	297	0.03	19	0.127	1.7	2.94	0.62	18.9	6.77	85.7	35.3	173	430	84
Zircon_092	1700	66	1047	15410	117.4	213.3	0.048	41.9	0.115	2.31	4.9	0.62	23.3	7.88	96.1	36.6	161.6	343	59
Zircon_093	1600	7	2635	17250	400.2	592	0.35	73.2	0.65	5.3	8.7	1.87	49.9	16.2	206.2	80.4	401	944	166.6
Zircon_094	5500	22	2480	16680	228	804	0.063	9.1	0.13	3.32	8.6	0.78	47.8	18.1	225	87.2	378	701	118.7
Zircon_095	-	-	1445	13300	301	859	0.038	35.6	0.089	1.58	2.24	1.23	14.1	5.61	80.9	40.3	235	758	183.3
Zircon_096	-	17	1820	14780	86.2	101.9	0.045	8.23	0.135	2.91	6.8	0.57	42.6	15	175	64.5	277	502	83.7
Zircon_097	3100	16	1296	13560	179.1	226	0.03	24.9	0.149	2.28	4.36	0.97	29.6	9.71	111.9	44.1	200	392	72.6
Zircon_098	1100	39	3120	13240	397	298	0.071	74	0.223	3.12	5.8	2.77	49.4	18.8	242	101	481	1120	205
Zircon_099	500	34	1970	15350	189	189	0.026	22	0.259	3.95	9	1.05	46.3	15.4	184	67.5	290	553	96.9
Zircon_100	2500	38	1036	14530	90.6	122.1	-	19.8	0.074	1.29	2.91	0.48	17.3	6.98	88.6	35.4	164.7	355	64.9

Anexo 7. Concentraciones de elementos traza y tierras raras (ppm) de zircones en la muestra SAMF 24 de la sección Sierra Anibacachi.

Zircones	P	Ti	Y	Hf	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Zircon_001	-	0.37	1056	10440	266	1353	-	15.5	0.017	0.3	1.08	0.81	12.2	4.66	65.3	30	163	479	120.2
Zircon_002	790	5.9	1850	7580	420	400	-	58.6	0.095	2.27	4.98	2.15	29.6	10.66	139.9	60.2	291	661	142.5
Zircon_003	150	10.1	763	8180	338	245.3	-	32.5	0.08	1.63	2.95	1.06	14.1	5.19	63.9	25	116.8	261.8	54.4
Zircon_004	360	1.7	403	8310	120.5	308	-	13.8	0.0036	0.3	0.4	0.277	3.32	1.21	18.6	10.12	64.5	265	82
Zircon_005	30	13.9	639	10360	108.2	399	-	18.7	0.042	1.15	2.11	0.216	11.84	4.14	48.9	20.5	100.4	235	48.6
Zircon_006	-	7.3	574	8450	27.7	80.6	-	6.5	0.017	0.67	2.02	0.361	9.23	3.13	41.3	18.16	92.5	226.8	52
Zircon_007	-	1.5	553	9460	97.5	415	-	13.1	0.0122	0.174	0.38	0.365	3.7	1.72	25.8	13.75	88.9	361	105.2
Zircon_008	-	8.8	1361	9280	402	293	-	58.9	0.179	3.36	5.69	1.44	28.7	9.62	112.4	44.1	211.6	473	97.3
Zircon_009	-	4.1	813	11240	141.4	217.9	2.44	55.8	0.4	1.39	1.31	0.289	9.05	3.56	50.2	24.11	132.5	389	94.8
Zircon_010	-	11.6	719	11870	367	612	0.145	23.2	0.413	4.29	4.69	1.71	15.3	5.13	61.3	24.2	108	244	47.6
Zircon_011	40	13.4	942	9320	31.8	73.4	-	9.02	0.075	1.67	3.58	0.205	22	7.59	90.7	33.5	143.6	260	49.7
Zircon_012	-	23.9	385	10210	35	74.8	-	8.25	0.072	1.14	2.07	0.277	10.48	3.33	35.8	13.17	57	107.5	20.87
Zircon_013	500	0.31	202.1	12510	43.6	154.4	-	5.78	-	0.186	0.5	0.113	3.28	1.32	16.03	6.75	32.5	83.4	18.2
Zircon_014	990	7.7	2650	7630	602	693	-	65.4	0.25	4.98	9.6	3.42	49.5	17.5	208	84.6	398	863	185.9
Zircon_015	-	7.8	293.8	9310	127.3	273	-	39.2	0.033	0.43	0.78	0.25	4.41	1.63	19.92	8.49	46.2	137.1	31.4
Zircon_016	-	14.4	839	9340	50.8	78	-	26.7	0.057	1.04	2.89	0.96	15.9	5.75	74.3	27.9	129.3	264	52.7
Zircon_017	1350	2.9	2440	11000	33.5	438	-	0.607	0.03	0.94	4.15	0.146	37.2	16.88	216	79.2	339	644	123

Zircon_018	-	14.4	516	10150	32.7	57.4	-	35.2	0.047	1.28	2.42	0.72	12.09	4.35	48.1	17.46	80.4	162	33.1
Zircon_019	-	1.4	504	10700	348	540	-	24.1	0.033	0.7	1.38	0.74	10.7	3.23	38.6	15.06	72.6	172.7	39.8
Zircon_020	-	18.2	287	10110	220.6	320	-	11.78	0.049	0.83	2.24	0.601	7.77	2.32	25.9	9.11	41.2	91.9	18.38
Zircon_021	110	5.4	1379	10090	348	519	0.023	38.8	0.074	1.11	2.52	1.19	19.5	7.39	101	44	218.4	538	123.6
Zircon_022	60	21.5	615	9780	34.6	63.7	-	8.54	0.038	0.77	1.8	0.289	10.82	4.18	52	20.18	92.4	195.4	38.5
Zircon_023	530	13.5	616	9950	33.7	75.8	-	9.66	0.044	0.95	1.9	0.304	13.1	4.51	53.9	20.93	93.2	180.6	35.9
Zircon_024	580	9.2	1030	10030	76	153.7	-	13.2	0.093	2.08	5.17	0.191	25.6	9.1	102	36.7	154	263	50.3
Zircon_025	-	7.4	161	11560	42	103.3	-	6.92	0.084	1.77	4.9	0.54	16.2	2.96	20.8	5.09	16.2	21.5	3.6
Zircon_026	-	3.6	161	12150	32.8	115	-	9.56	-	0.09	0.34	0.087	1.74	0.686	9.54	4.54	27.1	87.8	21.47
Zircon_027	-	3.3	395	7580	237.3	414	-	24.56	0.059	0.64	1.02	0.637	5.76	1.9	23.8	10.73	59.3	196	53.1
Zircon_028	350	12.3	1207	9640	215.6	578	0.019	16.77	0.123	2.19	4.2	0.758	25.4	8.88	102	40.1	182.9	342	69.1
Zircon_029	410	18.3	1721	8550	29.7	41.6	0.058	7.67	0.86	12.03	16.1	1.43	63.9	19.1	193	66.5	254.5	417	75.5
Zircon_030	170	3.7	618	8990	66.6	149	-	19	0.018	0.53	1.34	0.251	8.59	3.17	41.7	18.1	99.4	266	64.5
Zircon_031	480	6.6	2298	8370	297	389	-	68.7	0.128	1.66	4.58	2.13	33.4	12.98	174.9	74.8	376	850	184.7
Zircon_032	310	3	572	6740	21.05	30.9	-	10.47	0.078	1.06	2.48	0.85	13.2	4.18	49.6	19.68	88.7	183.5	40.5
Zircon_033	320	2.4	945	9700	198	495	-	33.4	0.0164	0.53	1.58	0.818	11.6	4.71	64.1	29	161.4	443	108
Zircon_034	210	4.2	516	10640	59.3	248	0.04	12.76	0.051	0.54	1.51	0.1	8.38	3.21	44.4	17.64	86.2	201.6	42.8
Zircon_035	-	3.3	902	11580	348	602	-	37	0.056	0.93	2.39	1.14	14.8	5.05	65.6	28.7	148.4	388	89.9
Zircon_036	-	3.8	748	11550	37.1	310	-	7.24	0.04	0.54	1.73	0.37	9	3.68	55.7	24.2	131	325	71.2
Zircon_037	230	5.9	2680	9720	540	489	0.061	55.8	0.481	7.68	12.6	3.97	61.3	20.2	232	89.4	411	835	171.1

Zircon_038	-	15.1	688	10340	47.8	71.9	-	13.02	0.025	0.84	1.88	0.23	11.6	4.74	59.4	23.2	110.3	228.5	46.9
Zircon_039	40	11.1	2402	8880	425	338	0.064	93.3	0.195	3.15	6.18	2.22	39.9	13.99	183.9	76.9	370	799	163
Zircon_040	430	10.8	1145	10860	84.6	204.6	-	12.48	0.067	0.98	3.29	0.322	20.4	8.04	98.9	40.5	185.8	376	75.9
Zircon_041	-	43.7	1062	9740	81.2	103.8	0.77	14.7	0.328	2.56	4.37	0.759	22.8	8.28	97.3	35.9	160.4	294	57.2
Zircon_042	-	4.3	669	11170	65.6	105	-	15.5	0.027	0.77	1.81	0.454	10.8	4.06	52.5	21.7	108.4	257	56.5
Zircon_043	70	32.7	345	8770	4.57	10.48	-	5.15	0.073	1.62	3.16	0.94	13.39	4.01	39.5	12.2	48.3	74.4	14.11
Zircon_044	110	3.3	635	8620	45.6	169.6	0.032	8.04	0.187	2.45	3.74	0.358	16.4	5.25	61	22.1	101.2	217	46.3
Zircon_045	1090	3.9	1978	13680	84.9	347	-	18.45	0.013	0.33	1.79	0.232	16.35	8.67	133.7	62.2	338	827	176.9
Zircon_046	-	7.8	590	10500	59.9	111.2	-	10.08	0.05	1.03	2.16	0.141	12.82	4.43	51.8	20.21	90.8	167.8	33.4
Zircon_047	-	3.4	459	9940	445	683	-	21.1	0.0089	0.252	0.79	0.572	6.57	2.38	29	13.06	72	222	60.6
Zircon_048	90	5.4	804	13060	215.2	521	0.018	63.3	0.121	1.83	2.71	1.03	13	4.82	58.2	24.2	121.5	325	73.2
Zircon_049	-	11.5	696	9490	135.2	245.4	-	13.8	0.047	1.1	2.74	0.76	14.5	4.64	55.8	22.69	107.4	261	58.7
Zircon_050	-	4.2	584	14790	30.9	151.4	-	9.19	0.0095	0.39	0.96	0.049	8.16	3.4	46.6	19.79	96.5	198.2	38.3
Zircon_051	360	10.1	1071	11790	82.2	157	-	14.5	0.031	0.85	2.71	0.279	17.9	6.9	87.4	35.6	171	347	70
Zircon_052	1110	5.3	1898	13180	108.7	279	0.0021	8.66	0.078	1.55	4.92	0.454	32.1	12.62	161.2	64.2	299	573	112.7
Zircon_053	440	3	358	11230	127	406	-	12.57	0.02	0.35	0.54	0.394	4.62	1.64	22.6	10.77	58.5	180	47.8
Zircon_054	-	6.2	204.7	11230	51.2	40.9	-	24.5	0.033	0.73	1.01	0.237	4.76	1.63	17.54	6.35	29.8	69.2	14.91
Zircon_055	-	1.8	587	11160	56.8	107.9	-	4.5	0.0046	0.42	1.14	0.84	8.38	3.36	42.3	18.64	94.1	240	56.2
Zircon_056	830	5.3	2246	13100	37.1	264	-	0.763	0.033	0.83	3.19	0.106	30.4	14.58	195.8	75.4	331	568	106.8
Zircon_057	30	4.8	618	14090	70	199.4	-	13.71	0.022	0.6	1.57	0.126	8.77	3.55	46.6	20.04	103.5	250.6	54.2

Zircon_058	140	2.2	516	10990	90.5	283	-	16.18	-	0.24	0.57	0.285	4.3	1.81	27.5	13.53	84.9	306	88.7
Zircon_059	710	8.7	1532	12540	41.8	339	-	0.74	0.034	1.08	4.64	0.144	38.4	14.9	160	48	182	283	52.8
Zircon_060	20	13.5	919	9930	93.5	234	-	5.8	0.059	0.99	3.25	0.333	17	6.25	78.7	30.3	139.6	274	56.2
Zircon_061	-	12.9	1047	9880	43.7	114	0.055	7.42	0.118	2.22	4.34	0.178	23.3	8.13	95.7	36.5	159	283.2	54.9
Zircon_062	-	4.7	529	9420	457	637	0.023	41.2	0.176	2.9	3.99	1.51	14.1	3.83	38.4	14.75	72.3	187	48.2
Zircon_063	-	2.8	1024	10940	141.7	203	-	33.4	0.022	0.67	1.91	0.425	12.96	5.45	72.6	33.3	169.3	417	91
Zircon_064	-	9	1045	11310	58.5	167.2	-	9.88	0.055	0.9	2.43	0.201	16.6	6.9	86.8	35.6	166.6	342	70.6
Zircon_065	270	46.3	898	9510	22.7	26.3	0.029	13.85	0.313	4.92	7.32	2.28	30.8	9.15	95.5	31.5	126.8	222	42.8
Zircon_066	40	10.3	823	11310	80.8	134.8	0.0054	18.7	0.055	0.98	1.91	0.148	14.63	5.66	70.1	28	130.5	271	54.4
Zircon_067	-	8.2	94	11660	2.66	52.2	-	1.8	0.0108	0.189	0.46	0.59	4.03	1.04	9.77	2.88	9.94	13.7	2.31
Zircon_068	380	3.4	959	10920	423	767	-	25.3	0.111	1.23	2.34	1.19	16.1	5.54	71.9	29.8	152.8	396	95.6
Zircon_069	390	7.1	565	11720	91	188	-	16.95	0.024	0.72	1.7	0.371	10.48	3.66	46.8	18.46	85.8	198.9	43.2
Zircon_070	160	14.4	301	11260	47.1	177.2	0.046	6.83	0.077	0.96	1.1	0.163	7.36	2.41	26.5	10.2	43.8	88.1	18.3
Zircon_071	-	1.7	710	11090	398	738	-	14.61	0.039	0.79	1.36	0.32	9.18	3.63	48.5	22.03	116.5	309	71.4
Zircon_072	-	15.8	619	11070	28.6	39.7	-	40.5	0.074	1.1	3.04	0.88	15.2	5.07	56.4	21.8	91.3	177.1	36
Zircon_073	-	2.8	417	10510	54.5	194.5	-	11.12	0.0107	0.33	0.81	0.349	4.95	1.92	26.2	12.15	68.8	215	56.5
Zircon_074	160	5.5	1247	10600	94	1803	0.15	9.19	0.139	0.96	1.86	1.06	11.9	5.05	72.1	35.5	208.5	662	164.7
Zircon_075	1040	6.9	747	11710	158.8	614	0.81	11.9	0.37	2.2	2.22	0.105	12.8	4.67	59.2	25.2	120.5	248	53.1
Zircon_076	640	9.8	922	11090	124	201.5	0.131	61.3	0.1	1.35	3.03	0.64	15.65	5.98	73.3	30.5	152.6	333	70
Zircon_077	410	5.2	1248	13000	124.5	239.8	-	15.21	0.031	1.25	3.45	0.077	22.5	8.65	112.7	44.1	199.8	359	69.3

Zircon_078	480	4.5	1082	12220	190	623	0.145	26.2	0.246	2.79	4.27	1.77	16.9	6.52	77.1	32.6	164.9	440	105.6
Zircon_079	580	4.7	665	11210	144.5	420	0.091	3.37	0.054	0.83	1.61	0.077	10.74	4.07	52.4	22.2	107.1	220.2	46.6
Zircon_080	570	18.9	1004	11560	71.4	180.2	-	8.56	0.062	1.45	4	0.273	21.9	7.56	91.7	34.6	154.6	278	54.2
Zircon_081	350	7.9	755	11400	212	397	-	19.19	0.048	1.16	2.21	0.501	12.59	4.53	57.3	23.32	120.1	284.7	64.3
Zircon_082	10	3.5	576	12270	92.9	124.8	-	23.2	0.025	0.77	1.64	0.882	9.2	3.15	43.2	18.17	96.8	255	59.4
Zircon_083	-	93	475	11570	113.1	243.6	0.093	18.33	0.031	0.5	1.13	0.514	6.8	2.6	34.3	14.51	77	205.5	49.7
Zircon_084	470	14.6	2014	14160	89.8	523	0.135	4.96	0.221	2.69	6.7	1.08	40.7	15.01	184.3	65.3	270	422	77
Zircon_085	-	3.2	171	11190	31.1	75.1	-	4.06	-	0.21	0.84	0.41	4.95	1.38	16.4	5.51	26.8	51.5	11.06
Zircon_086	210	5	1860	15120	644	1520	0.201	33.9	0.96	8.5	9.2	2.12	35.9	12.8	151	58.4	289	630	120.9
Zircon_087	640	0.72	1170	11950	197	197.1	0.64	52.3	0.245	1.75	2.66	0.709	17.2	6.94	90.5	38.3	191	405	90
Zircon_088	4500	3	768	10530	122.9	406	12.9	40.4	2.41	9.9	2.24	0.87	9.21	3.29	48	22.5	129.3	390	101.6
Zircon_089	-	24	923	10650	68.5	112.6	-	10.99	0.075	0.91	3.26	0.566	21.1	6.89	82.4	31.6	138.1	261	51.7
Zircon_090	160	3.6	594	12620	130.3	204.6	0.18	18.7	0.05	0.62	1.22	0.303	8.89	3.29	45	19.29	98.2	226	49.9
Zircon_091	20	2.1	604	10900	72.2	65.3	-	56.1	0.075	1.34	2.94	0.567	14.1	4.68	50.7	19.36	90.6	181	38.8
Zircon_092	200	5.1	416	10640	113.8	327	-	8.76	0.026	0.47	1.01	0.386	5.24	2.12	27.4	12.25	67.2	206.2	54.8
Zircon_093	-	12.6	763	12770	114.9	223	-	16.15	0.042	0.63	1.55	0.165	12.5	5.06	62.1	25.3	122.7	263	55.3
Zircon_094	40	2.4	665	10750	185	497	0.0056	20.56	0.03	0.62	1.75	0.96	9.69	3.71	47.4	20	105.3	274	67.4
Zircon_095	520	11.3	1011	12300	149.5	221.2	-	23.2	0.034	1.21	2.97	0.217	17.3	6.51	84.5	34.5	162.5	323	65.3
Zircon_096	500	32.9	962	10490	107.7	138	0.8	21.22	0.245	2.5	3.34	0.966	18.9	6.73	79.7	32.2	149	308	65.3
Zircon_097	870	4.8	1135	8380	85.7	94.5	0.013	13.3	0.189	2.63	5.1	2.61	23	8.37	96.8	37.3	176.2	368	80.7

Zircon_098	640	6.6	864	12700	85.4	249	0.008	2.41	0.07	1.08	2.36	0.072	15.7	5.58	72.8	29.8	134.3	269	52.5
Zircon_099	750	17.2	1062	11400	93.9	144.8	-	9.58	0.072	1.65	3.29	0.172	20.2	7.46	91.3	36.3	169.2	307	63.3
Zircon_100	90	5.4	341	14470	40.7	123.7	-	1.03	-	0.201	0.63	0.245	5.2	2.08	26.6	11.37	55.9	113.2	24.25

Anexo 8. Concentraciones de elementos traza y tierras raras (ppm) de zircones en la muestra RBMF 2 de la sección Rancho

Zircones	P	Ti	Y	Hf	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Zircon_001	223	7.48	1540	7390	139	138	0.088	16.6	0.218	4.15	6.1	2.01	34.5	11.21	132	51.5	240	491	102.2
Zircon_002	318	16.7	1050	11350	117.5	173	0.088	35.2	0.211	2.23	4.04	1.2	19.6	7.24	89.4	34.7	163	334	65.2
Zircon_003	311	13.6	592	6560	75.8	88.5	-	11.12	0.057	1.19	1.99	0.57	11.96	4.2	51.1	19.4	91.6	183	38.6
Zircon_004	400	14.2	734	7860	69.5	101.6	2.2	17.8	0.76	3.5	2.48	0.275	14	5.12	60.3	24.5	113.3	233	47.1
Zircon_005	463	8.97	2193	6960	458	404	0.048	50.3	0.117	2.25	4.74	1.65	33.6	13.09	171.5	71.1	345	722	152.6
Zircon_006	304	13.1	1317	9180	184	235	0.009	21	0.124	1.57	3.91	0.267	24.4	9.36	115.2	44.5	210	415	82.5
Zircon_008	1160	6.95	2740	8010	403	360	3.1	117.8	1.68	8.6	8.16	1.8	48.9	18.86	239	94.4	421	759	146.6
Zircon_010	1280	20.5	1460	8720	228	376	49	124	17	97	15.2	0.48	42	12.9	139	50.9	236	445	87.1
Zircon_012	199	11.13	768	8500	49.3	65.8	-	6.33	0.07	1.11	3.01	0.145	16	5.82	70.8	26.9	118.9	217	42.8
Zircon_013	75	7.29	330	6530	43.1	91	-	6.38	0.0196	0.332	0.84	0.368	4.91	1.7	22.2	10.1	54.2	147.1	36.4
Zircon_014	319	7.19	1028	7190	87.8	68.4	-	32.4	0.036	1.26	2.99	0.98	17.2	6.2	79.3	34	161	359	78.7
Zircon_015	460	9.82	1027	7730	140	86.1	0.27	38.4	0.216	2.36	3.23	1.16	18.7	6.63	84	34.1	163	363	76.2
Zircon_016	1010	8.36	806	6800	250	472	5.2	29.3	1.65	7	2.98	0.252	13.2	4.93	62.5	26.7	128.3	279	57.7
Zircon_017	450	8.3	1360	7280	369	833	5.3	150	3.21	15.5	9.9	2.42	28.1	9.8	118	44.5	207	447	96
Zircon_018	161	10.1	580	8370	76.7	108.3	0.206	13	0.084	1	1.62	0.53	10.5	3.64	46.1	19.3	91.1	199	42.1
Zircon_019	280	7.2	833	8020	57.8	62.1	-	26.2	0.0224	0.78	2.11	0.61	13.02	4.78	61.6	26.3	134	318	73.2
Zircon_020	249	9.19	762	7560	90.6	120.7	-	13.57	0.022	0.86	2.56	0.491	14.16	5.3	66	26	119	236	47.4

Zircon_021	200	9.65	918	6670	134	149	0.003	31.2	0.085	1.16	2.51	0.62	15.7	5.75	72.5	30.8	147	335	73.5
Zircon_023	443	6.87	2610	4680	831	472	0.079	33.1	0.282	4.85	11.82	2.92	67.9	22	254	91.2	394	695	136.1
Zircon_024	343	7.22	2790	5750	148	209	-	49	0.115	2.58	9.44	1.01	62.5	22.1	263	99	418	685	128.1
Zircon_025	282	11.3	854	9080	95.3	136	-	12.85	0.05	0.99	2.58	0.288	14.5	5.83	72.2	28.9	132.1	271	54
Zircon_026	193	6.33	581	7920	126.5	226	0.015	26.1	0.021	0.388	1.18	0.308	7.19	2.97	42.4	18.4	93	230	50.8
Zircon_027	141	7.30	325	5490	11.8	29.7	-	4.78	0.024	0.44	1.45	0.156	7.8	2.49	29.2	11.16	49.6	94.7	19.6
Zircon_028	2420	14.8	3830	5800	260	288	98	325	37	168	52	3.04	124	35.2	381	137.8	581	932	174
Zircon_029	273	12.48	1789	7130	203	157.6	0.0063	17.69	0.3	4.74	8	1.9	43.1	14.29	166.2	61.8	268	468	91.2
Zircon_030	617	13.1	838	8350	141.5	219	15.3	56.3	5.35	24.3	6.45	0.398	18.3	5.82	69.4	27.6	131.1	265	55.2
Zircon_031	156	9.1	535	8610	95.5	203	0.292	21.9	0.259	2.05	2.07	0.335	9.6	3.35	43.6	17.7	85	179	36.8
Zircon_032	320	9.34	934	7030	171.6	187.6	0.63	23.5	0.31	2.48	3.46	0.662	17.17	6.35	77.7	30.7	142.7	277	55
Zircon_033	254	9.95	850	6880	136.9	156.9	-	16.75	0.059	1.12	2.57	0.65	16.5	6.03	70.9	27.9	127.3	247	50.5
Zircon_034	184	7.26	702	8600	151.9	362	0.022	14.8	0.033	0.54	1.87	0.193	10.28	4.02	53	23.2	115.5	255	55.2
Zircon_035	434	9.42	1960	6760	192	198	-	27.4	0.217	4.11	7.6	2.55	40.1	14.5	169	64.5	305	597	129.2
Zircon_036	329	19	1176	7310	63.2	55.5	0.07	15.7	0.318	5.62	7.66	1.52	33.5	10.47	114.7	41.4	173	311	59.2
Zircon_037	6500	52.9	686	6730	70.7	69.6	60.2	145	23.1	114	29.8	3.26	36.9	7.35	67.9	23	97.7	188	38.3
Zircon_038	250	9.01	765	7720	209	372	-	21.3	0.029	0.96	2.27	0.292	12.91	4.84	59.2	24.5	116.7	262	55.3
Zircon_039	324	5.5	1660	7540	204	289	0.0044	35.9	0.049	1.25	3.2	0.55	24.6	10.3	130	54.3	260	540	109.7
Zircon_040	489	8.06	1383	6950	391	541	2.48	32.3	0.965	6.05	5.54	0.357	26.6	9.48	115.8	46.8	214	423	83.8
Zircon_041	355	5.4	1847	6190	121.4	175	0.0026	44.5	0.08	2.12	5.74	0.576	37.8	14.29	176.2	65.5	287	483	90.7

Zircon_042	484	7.46	1263	6160	92.2	95	0.017	28.5	0.107	1.76	4.38	1.265	23	8.18	102.3	41.3	199.2	446	99.3
Zircon_043	325	12.11	1370	6950	245	511	1.47	56.1	1.56	11.7	9.84	3.3	32	10.75	122.9	45.9	206	380	76.6
Zircon_044	329	14.6	2530	8010	325	228	0.025	24.8	0.434	6.88	10.8	2.17	58.2	19.7	229	85.1	369	652	126
Zircon_045	1470	12.3	886	7650	263	503	20.9	71	5.83	25.6	6.28	0.42	16.5	5.26	66.2	28.1	140.1	329	71.4
Zircon_046	823	7.42	5510	5670	547	305	0.086	208.4	1.145	19.8	34.7	10.22	162.1	51.1	561	199.5	823	1414	276
Zircon_047	367	9.02	1610	6290	411	327	1.26	51.9	0.374	3.46	4.97	2.1	31.2	11.28	136	53.9	247	514	108.6
Zircon_048	113	5.65	558	7810	48.9	67.4	0.021	14.61	0.028	0.53	1.72	0.376	10.08	3.5	44.6	18.1	89.7	203	42.1
Zircon_049	47	7.9	188	5710	14	18.6	-	3.77	-	0.232	0.74	0.261	3.07	1.1	13.8	5.67	31.3	82	21.1
Zircon_051	167	14.1	407	5670	35.8	40.6	-	7.12	0.025	0.49	1.44	0.498	7.65	3.05	34.6	13.92	61.4	119.3	23.9
Zircon_052	618	5.35	1696	9230	312	744	0.027	16.99	0.056	0.96	2.91	0.106	21.6	9.37	128.1	56.7	272	606	125
Zircon_053	248	8.57	632	7310	149.5	236	0.041	15.3	0.035	0.75	1.84	0.312	10.46	3.89	49.1	20.05	99.5	221.7	47.9
Zircon_054	242	8.48	885	7150	98.9	157.6	0.0018	12.19	0.047	0.91	2.03	0.644	14.1	5.53	69.6	29.6	139.5	297	62.7
Zircon_055	226	11.78	473	9040	45.9	84	-	9.43	0.024	0.5	1.22	0.152	7.54	3.06	39.8	15.78	75.2	160.5	33
Zircon_056	263	22.4	585	8770	71.9	102.2	0.056	17.4	0.177	1.93	2.23	0.278	11.1	3.95	49.3	19.4	90.2	188	37.4
Zircon_057	267	6.45	856	8840	315	444	-	35.5	0.0174	0.59	1.95	0.357	12.33	4.71	64.4	27.4	137.2	310	64.2
Zircon_058	233	6.58	975	8180	74.1	90.8	0.15	29.8	0.046	0.85	1.88	0.581	12.66	5.28	73.2	32.1	162	377	82.9
Zircon_059	546	6.08	3060	5180	208	256	-	79.2	0.263	5.05	13	1.27	77.1	26.3	302	110.1	451	734	139
Zircon_060	286	7.46	887	7960	120.7	185	0.038	22.7	0.064	1.18	2.87	0.524	14.5	5.55	70.2	30.2	142	316	66.5
Zircon_061	353	5.42	970	9650	66.3	106.1	-	26.6	0.0103	0.51	1.52	0.429	11.38	5.21	71	32.1	161	368	78.3
Zircon_062	4780	42	2420	6620	307	295	49.4	150.7	16.22	78.2	23.2	3.66	54.1	17.2	202.8	79.7	366	753	157.5

Zircon_063	224	8.37	545	7280	42.6	140.1	-	3.26	0.037	0.77	1.68	0.141	10.8	3.97	47.4	18.5	87	176	36.6
Zircon_065	344	10.92	1028	5100	41.6	30.8	0.0031	44.2	0.214	3.01	4.77	2.18	23.2	7.26	86.5	35.3	162	324	71.7
Zircon_066	461	10.36	2180	6250	403	278	-	56.5	0.104	2.24	5.37	2.31	36.6	13.94	177	72.5	331	682	141
Zircon_067	192	8.48	519	7880	69.4	149	0.01	12.4	0.046	0.42	1.17	0.269	8.52	3.36	41.5	16.7	78.6	174	34.3
Zircon_068	95	5.64	787	7850	334	572	0.037	19.6	0.153	2.04	3.15	1.36	16.1	5.27	63.2	24.7	121.4	295	70.1
Zircon_069	114	6.49	690	7650	138.1	255	0.01	19.3	0.045	0.8	2.09	0.99	11.93	4.04	52.8	21.3	109.8	278	65.1
Zircon_070	747	5.78	1860	6880	100.2	149	-	41.4	0.03	0.91	3.01	0.712	24.1	10.87	147.1	62.6	295	597	122.3
Zircon_071	155	7.18	663	6560	79	99	0.154	13.64	0.07	1.05	1.68	0.606	10.3	3.89	49.8	21.3	105.3	245	53.3
Zircon_072	279	14.2	991	9530	138	161	0.223	38.1	0.337	2.89	4.07	0.84	19.1	7	87.1	33.6	150	301	59.7
Zircon_073	132	8.5	1120	9060	336	550	0.2	18	0.114	1.16	2.27	0.58	15.5	6.01	81.5	37.6	181	431	93.7
Zircon_074	159	7.42	470	8200	110.1	225.3	-	10.41	0.0088	0.363	1.11	0.193	6.96	2.84	35.9	15.21	72.3	155.7	32.8
Zircon_075	642	12.94	2090	7110	297	172.5	1.8	55.1	0.84	6.5	8.7	3	49.2	16.93	195.5	73.2	314	553	108.9
Zircon_076	365	12.8	1140	6680	236	207	1.11	25.1	0.359	2.22	3.25	1.19	17.7	6.59	86.4	36.2	174	397	85.1
Zircon_077	452	6.09	2150	5320	290	281	-	56.2	0.121	3.02	7.48	0.8	50.5	17.6	205	75.5	314	514	98.4
Zircon_078	194	7.08	852	7300	46.6	87.4	-	3.21	0.08	1.51	3.91	0.594	19.9	6.59	77.1	29.6	131	242	49.9
Zircon_079	259	6.8	1128	6640	560	422	0.334	42.5	0.263	2.51	4.16	0.98	24	8.44	99	39.1	176	336	68.4
Zircon_080	275	8.82	1350	6080	127	222	0.007	9.9	0.149	2.36	4.79	1.19	24	8.4	105	41.6	206	446	95
Zircon_081	221	6.91	1275	6940	372	400	0.0028	35.1	0.143	2.37	4.23	1.19	22.2	7.5	98.6	39.8	199	464	102.1
Zircon_082	4380	28.1	1330	10190	341	684	45.5	158	16.1	77	21.4	1.9	34.9	9.94	108.9	42.3	203	443	87.5
Zircon_083	421	6.79	907	7630	275	431	1.02	20.4	0.45	2.57	2.5	0.352	14.1	5.36	70.7	29.6	144.1	325	70

Zircon_084	339	24.7	912	7240	91.5	231	0.93	113.1	3.31	20.2	16	5.01	34	10.11	94.1	27.8	108.1	200	39.6
Zircon_085	380	12.5	1190	8070	184	247	0.47	100	1.53	10.2	9.7	2.73	31.5	10.3	113	39.2	169	329	63.1
Zircon_086	454	6.09	1555	9180	163.9	238	-	40.4	0.028	0.7	2.03	0.449	17.74	7.73	113.1	50.4	252	587	123.6
Zircon_087	223	7.98	1272	7070	74.5	79.9	0.025	22.2	0.146	2.28	4.19	1.78	23.2	8.09	101.1	41.7	206	451	99.5
Zircon_088	509	13.2	3410	7050	241	161.2	0.153	45.4	0.557	9.35	15.4	5.7	84.2	27.6	318	119.4	506	875	166.8
Zircon_089	239	6.75	1328	8590	123.3	80.9	-	33	0.144	2.94	5.67	1.72	28.6	9.47	112.5	44	206	436	94.5
Zircon_090	384	14.8	1340	7750	44.6	86.5	0.32	7.4	0.304	5.33	9.1	0.86	39.4	12.6	138	47	192	307	57.5
Zircon_091	116	11.5	519	6100	68.8	98.9	0.14	10.34	0.073	0.95	2	0.52	8.48	3.08	39.9	16.5	79.2	191	42.5
Zircon_092	165	7.87	1092	6770	217	296	0.0014	37.6	0.083	1.56	3.82	1.08	19.5	6.74	84.1	35	169.4	387	84.5
Zircon_093	560	9.65	2430	7580	208	165	0.0059	74.4	0.143	2.91	7.15	2.85	43.1	16.3	202	82.1	374	729	149
Zircon_094	83	8.65	285	8420	34.5	127.3	-	6.66	0.024	0.61	1.2	0.085	5.46	2.23	26.2	9.37	43.2	86.4	16.93
Zircon_095	268	10.02	1010	5780	44.5	44.5	0.043	9.55	0.173	2.87	4.37	1.97	22.6	7.41	86.5	33.8	154.1	320	68.5
Zircon_096	200	8.43	481	9390	40.4	102.2	-	4	0.029	0.6	1.64	0.091	10.03	3.55	42	16.5	70.8	136.1	25.9
Zircon_097	260	5.65	2480	5430	129.7	175.7	0.0078	45.7	0.133	2.84	9.58	0.87	59.1	20.5	244	89.8	377	617	115.5
Zircon_098	144	11.6	738	6890	124.7	65.4	0.0099	29.6	0.392	6.8	8.75	2.38	29.1	7.75	76.9	25.2	100.8	180	35
Zircon_099	367	5.71	1046	8100	203	304	0.52	25.1	0.151	1.8	2.66	0.265	15.3	6.07	79.1	33.8	163.8	360	77.2
Zircon_100	424	8.71	1474	7680	388	268	0.203	34.9	0.195	2.43	4.55	0.99	27.9	9.86	127	50	230	461	94.7

Anexo 9. Concentraciones de elementos traza y tierras raras (ppm) de zircones en la muestra RBMF 3 de la sección Rancho Búfalo.

Zircones	P	Ti	Y	Hf	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Zircon_001	1390	7	641	12440	148	317	81	183	20.5	84	15.3	1.71	21.4	4.89	55.1	21	102.3	257	52.9
Zircon_002	1270	18	1690	12460	620	846	4	60	1.28	8	6.5	2.53	29.3	9.91	124.4	53.5	264	694	151.3
Zircon_003	490	22	1042	13870	234.5	625	6.6	26.8	1.6	8.6	3.35	0.52	14.11	5.1	71.2	30.3	164	454	96.4
Zircon_004	160	33	1480	16970	688	1220	0.37	54.5	1.51	14.8	17.4	8.53	59	17.69	167	46.8	194	443	85.9
Zircon_005	70	3	980	15770	146.4	411	0.045	25.6	0.034	0.91	1.47	0.8	11.9	4.85	67.2	29.6	164.8	474	103
Zircon_006	1320	28	3220	13060	587	798	-	122.3	0.08	2.45	6.07	2.42	51.7	19.8	260	108.7	515	1157	233
Zircon_007	40	37	894	9230	89	379.9	0.41	12.8	0.33	2.11	4.6	1.35	21.2	6.97	77	29.5	140.9	276.4	55.9
Zircon_008	730	14	1234	11000	105.9	129	-	26	0.033	1.86	3.69	0.53	23.3	7.42	107.3	41.1	176	332	65.2
Zircon_009	430	2	1759	11920	179.9	235	0.136	37.2	0.143	2.59	4.22	1.28	24.5	10.02	131.2	56.6	278	651	131.3
Zircon_010	-	-2	2410	11080	190	248	-	66.2	0.183	2.79	6.68	2.6	39.6	14.2	192	77.4	380	896	182
Zircon_011	1450	26	2230	9070	272	272	83	249	25.4	100	32.7	3.19	69.7	22.9	247	84.1	337	520	76.6
Zircon_012	600	11	934	12080	60.2	180	0.49	18.3	0.198	2.38	3.13	0.263	17.2	6.42	79.9	32.1	142.6	302	53.4
Zircon_013	740	32	1197	13410	49.6	83.9	0.032	18.2	0.44	6.1	8	1.59	40	11.5	123.4	42.7	179	314	57.9
Zircon_014	870	22	454	11710	69.4	205.7	0.81	14.4	0.31	1.29	1.34	0.53	8	2.3	32.3	13.85	73.6	237	57.4
Zircon_015	-	56	394	16350	46.8	83.2	1.21	16.7	0.21	1.02	0.73	0.28	5.6	2.03	24	11.75	64	192	40.7
Zircon_016	1490	17	956	12910	123.3	175.3	0.013	27.35	0.038	1.23	2.31	0.9	12.6	4.66	63.9	30.2	159.1	458	97.8
Zircon_017	-220	14	928	13300	60.7	87.3	9.9	31.6	2.22	12.3	4.91	0.44	21	7.29	85.3	32	140.2	278	49.1

Zircon_019	1000	10	982	15250	131.1	162.7	0.095	55.9	0.331	3.45	3.97	0.89	22.4	7.6	88.2	34.1	155.1	346	63.7
Zircon_020	-	12	793	13970	181	283	0.74	16.6	0.161	1.37	1.69	0.58	10.24	4.07	56.1	24.85	125.8	334	75.5
Zircon_021	1280	28	954	14150	67.2	96	-	15.3	0.079	1.19	3	0.371	16	6.29	81.4	32.5	147	302	58.1
Zircon_022	680	1	1440	12950	230	378	-	13.6	0.161	2.75	4.71	0.93	26.6	8.65	110.5	43.6	210	505	100.9
Zircon_023	400	10	1310	10980	140	325	-	15.2	0.103	1.49	2.76	0.67	17.9	7.38	97.1	41.2	205	476	99.4
Zircon_024	410	41	1670	8910	124.5	159	0.097	15.04	0.66	8.2	12.7	1.27	57.2	16.7	176	62.6	250	429	80.5
Zircon_025	4980	59	3350	13790	562	758	0.052	38.8	0.226	5.5	11.1	2.34	63.8	22.6	283	112	499	1058	198
Zircon_026	1150	53	966	12280	49.49	48.6	-	10.93	0.141	3.77	5.16	0.55	26.9	8.74	99.3	34.1	147.1	272	47.1
Zircon_033	42300	8	900	10930	66.4	98.8	0.066	15.6	0.11	2.72	3.83	0.3	21.3	7.3	83.3	32.3	139.8	279	54.8
Zircon_034	4600	13	1197	12870	240	523	-	16.7	0.087	1.04	2.21	0.53	15.4	5.97	83.6	36.7	191	521	112.4
Zircon_035	-	14	148.2	13480	62.3	199	-	9.38	0.032	0.55	0.24	0.175	1.61	0.46	6.83	3.69	22.8	96.5	26.1
Zircon_036	1720	19	816	11960	63.4	48.8	0.047	24.2	0.082	1.84	4	1.02	15.2	5.61	69.8	27.5	131.1	293	60.3
Zircon_037	15900	13	1595	15930	235.7	588	0.037	39.2	0.14	1.4	2.83	1.82	21.2	8.23	110	50.8	258	780	166.1
Zircon_038	910	11	1260	13900	364	687	0.54	23.2	0.22	1.82	2.69	0.498	15.8	5.97	85.8	39	202	572	122
Zircon_039	1000	16	1050	17220	196	566	0.41	14.5	0.23	1.35	2.3	0.4	14.7	5.6	75	32.7	164	449	87.9
Zircon_040	-	14	1110	14640	231.9	680	0.05	25.2	0.039	1.07	1.49	0.74	10.6	4.17	63.9	31.29	184	605	147
Zircon_041	1510	16	1114	9630	52.6	97.6	-	11.6	0.132	2.24	4.6	1.91	24.7	8.11	97	37.4	166	329	65.6
Zircon_042	2430	20	2280	14440	320	594	0.12	47.6	0.142	2.64	5.2	2.4	32.8	12.3	170	71.1	357	990	200
Zircon_043	2320	3	674	10500	195	426	-	21.6	0.029	0.47	1.1	0.55	6.08	2.18	31.6	17.5	110.6	436	114.7
Zircon_044	760	28	1651	12170	193	238	-	32.1	0.364	6.96	11.8	2.06	51	14.65	156.3	55.8	227	421	76.6

Zircon_045	-	39	1483	11250	93.2	54.4	0.012	89.1	0.48	6.47	9.2	6.08	51	13.94	152	53.7	226.1	462	86
Zircon_046	880	15	2540	11430	604	800	-	96.2	0.117	1.99	4.9	1.81	34.2	13.8	179.5	80.1	395	934	195
Zircon_047	1380	34	1167	11500	239.1	350	1.16	16.4	0.46	3.37	4.66	0.88	20.9	8.25	97.7	37.5	184.8	404	83.7
Zircon_048	-	13	634	10860	76.1	110.4	0.017	18.04	0.042	0.79	1.32	0.65	9.4	3.36	43.8	19.01	101.5	287.7	68.2
Zircon_049	-	23	217	18000	0.708	182	0.021	0.48	-	0.34	-	0.091	1.16	0.54	10.4	5.94	38.8	139	31.7
Zircon_050	-	17	1320	13520	496	506	0.033	55.3	0.104	2.13	3.18	1.08	19.4	7.06	90.8	39.5	210	557	118
Zircon_051	3590	133	554	8170	56.9	61.6	0.038	6.44	0.168	1.87	3	1.22	12.4	4.17	48.7	17.77	79	147.4	30.7
Zircon_052	-	1	960	14480	122.1	288.6	-	27.9	0.056	1.02	1.2	0.69	9.9	4	57.2	27.9	160	532	124.8
Zircon_053	920	6	774	16760	333	733	-	27.3	0.038	1.15	2.13	0.9	10.7	3.77	51.7	22.8	128	399	90
Zircon_054	1720	8	1501	12590	288.8	603	22.5	73	5.9	31	7.6	1.06	22.6	7.67	104.7	45.9	238	629	132.7
Zircon_055	70400	3	807	13470	92.8	139.8	-	21.69	0.05	0.89	1.51	0.73	10.01	3.89	55	24.23	129.8	394	86.1
Zircon_056	2490	13	1282	14470	348	677	0.034	41.9	0.076	1.21	2.07	1.22	17.7	6.73	87.1	38.1	207	600	135.9
Zircon_057	210	431	4220	9520	535	1569	0.49	55.8	7.03	137.9	229.4	64.5	534	85.7	548	118.6	365.9	468	79.8
Zircon_058	1900	8	270	12690	65.7	183	-	9.03	0.034	0.7	0.43	0.37	2.28	0.912	14.6	7.17	43	179	50
Zircon_059	660	24	1684	13340	375	219.6	23.6	125	7.6	37	10.6	2.35	35.7	12.03	140.8	55.8	255.9	566	112.1
Zircon_060	-	7	1470	14930	343.2	546	0.151	45.9	0.082	1.43	4.03	0.5	22.6	8	107.9	46.6	232.4	557	112.2
Zircon_061	3460	10	4080	11970	523	247.7	0.09	120.8	0.56	9.5	16.6	7	91.5	28.6	354	134.5	609	1223	232.4
Zircon_062	8000	3	2180	12510	315	291	0.033	81.3	0.469	8.7	14.1	3.59	65.6	19.28	217	75.5	317	576	104.1
Zircon_063	1280	30	3450	15600	177	293	0.093	33.4	0.39	6.2	11.9	3.05	64	23	307	121	571	1290	234
Zircon_064	940	33	709	18140	95.9	403	-	19.74	0.038	1.67	1.5	0.051	12.9	4.28	56.9	22.2	109.1	258	51.7

Zircon_065	-	7	2000	14630	466	930	5.7	36	1.59	9.2	5.04	0.95	30.2	11.42	153	62.4	298	741	146.9
Zircon_066	4400	48	2960	12570	279	276.4	-	69	0.284	5.9	9.3	3.5	54.3	18.3	241	98.4	450	967	181
Zircon_067	2440	-	598	14780	173	315	-	17.9	0.045	0.74	0.93	0.62	8.9	3.25	43.5	18.4	93.6	250	54
Zircon_068	2100	15	1010	16300	167	343	-	43	0.036	1.16	2.57	0.58	14.8	5.66	78	32.3	161	385	75.2
Zircon_069	820	25	708	13710	54.1	110.1	-	11.08	0.067	0.48	1.86	0.305	16.7	5.28	64.1	23.9	107.6	205.2	39.2
Zircon_070	200	23	894	15470	54.7	86.9	-	14.4	0.121	2.24	5.4	0.56	25.1	7.58	86.6	32.5	133	262	46.7
Zircon_071	3600	5	314	11230	138.2	226	-	9.25	0.031	0.79	1.02	0.5	6.27	1.91	23.2	9.83	50.6	137.5	31.3
Zircon_072	3100	1	826	13830	188	464	-	25.4	0.044	1.06	1.64	0.65	10.55	3.9	54.8	24.4	133	397	91.1
Zircon_073	4000	16	1215	12370	1350	1420	0.013	58.4	0.127	2.07	2.5	1.07	16.6	5.3	73.7	33.7	184.7	579	131.9
Zircon_074	2200	42	844	18820	122.2	213.6	-	20.1	0.105	1.05	1.83	0.182	12.9	5.17	67	26.8	132	304	55.4
Zircon_075	2430	6	1249	12890	230.6	439	0.074	16.63	0.056	1.45	2.62	0.63	19	7.09	95.7	39.8	192	455	96.6
Zircon_076	2700	13	1630	13310	225	465	-	18.3	0.1	1.41	3.76	0.78	23.6	8.74	120	49.6	247	606	123.1
Zircon_077	3000	28	1240	16480	101.1	130	-	20.7	0.042	1.92	3.76	0.56	20.7	8.33	101.4	40.1	185.7	385	68.1
Zircon_078	1400	36	2340	13040	136	100	0.025	20.4	0.319	5.4	11.9	2.74	60.9	19.8	227	80.3	330	595	105.3
Zircon_079	600	3	964	12960	68.1	186	-	2.66	0.087	1.79	3.16	0.298	18.6	6.69	86.4	33	145	299	54
Zircon_080	400	2	2172	11560	288	293	0.035	49.7	0.093	2.79	5.69	2.6	38.8	13.86	173.5	69.9	334	751	149.1
Zircon_081	5300	26	5490	19600	223	519	0.106	53.4	0.4	4.31	11.1	4.45	76.5	32.9	472	191.4	917	2210	410
Zircon_082	4800	16	1410	10660	226	225	0.019	37	0.118	3.27	4.86	1.65	26.6	8.11	105.1	42.8	208	471	97.9
Zircon_083	3100	5	725	9350	38.1	64.9	0.023	9.42	0.15	3.29	4.1	0.56	22.4	6.89	79	27.7	114.6	206.8	38.5
Zircon_084	2200	-	2930	17590	227	561	0.052	33	0.115	3.3	6	0.236	42.4	16.02	232	96.6	463	1056	194.1

Zircon_085	3200	27	593	13270	32.2	52.1	-	7.89	0.101	1.28	2.36	0.211	11.6	4.19	53.3	19.94	91.4	191	35.7
Zircon_086	2800	4	1980	12520	256	362	0.034	67.5	0.177	3.66	7.9	1.93	40.8	13.28	163	64.6	312	685	137.4
Zircon_087	6200	12	666	14210	87.1	136	-	45.4	0.07	2.03	3	0.512	14.6	4.86	59	21	95.7	202	39.2
Zircon_088	5500	-	945	12800	166	289	-	18.5	0.091	1.32	2.03	0.69	16.3	5.94	78.6	30.4	148.2	357	71.8
Zircon_089	5000	25	749	13730	59.4	103.7	0.019	12.89	0.047	0.98	2.05	0.65	12.4	4.66	59.1	23.9	113.8	256	51.2
Zircon_090	-	3	1788	13560	84.1	95.9	26	72	8.8	42	17.8	0.77	57.4	16.43	185.7	63.1	250.9	433	74.3
Zircon_091	2000	8	896	13690	206	301	-	22.7	0.101	1.91	2.98	0.91	18.5	5.71	73.6	27.6	133.5	319	63.3
Zircon_092	7300	203	948	13610	422	201	103	250	20	85	19.5	2.82	43.6	10.3	102.5	32.2	127	220	38.9
Zircon_093	4000	2	920	12900	150	272	0.036	17.3	0.137	2.04	4.14	1.76	20.1	5.92	72	27.7	135	350	75.8
Zircon_094	1800	0	681	16000	62.7	111.5	0.033	10.28	0.103	1.74	2.23	0.159	14	4.88	62.7	23.2	110.2	225	41.3
Zircon_095	159000	17	1176	16900	217.6	268.9	-	39.8	0.099	1.43	3.29	0.67	21.1	7.04	98.7	37.6	183	408	76.9
Zircon_096	2500	18	560	12580	237	525	0.021	16.6	0.042	0.8	1.31	0.6	7.8	3.06	38.9	17.8	91.3	256	61.1
Zircon_097	1300	240	2210	10610	75	171	-	2	0.25	2.6	7.6	2.86	52	16.5	210	71.1	321	597	107
Zircon_098	3500	15	2590	12660	234	289	0.035	63.3	0.116	2.53	6.02	2.53	40.8	14.51	208.5	84.1	402	900	176.1
Zircon_099	2100	40	1082	13440	98.4	129.9	2	18.4	0.7	4.1	4.1	0.33	20.1	7.27	92.7	34.4	161.6	338	65.3
Zircon_100	3800	11	813	13590	163.1	387	0.046	12.15	0.075	0.97	1.58	0.294	9.6	3.84	53.5	24.4	128	367	80.5