

DONACION

Num. Reg. EMET 4658

Catalogador MJB

Fecha 02-05-08



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

**PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS SILICICLÁSTICOS
DEL TRIÁSICO SUPERIOR EN EL CENTRO Y NORESTE
DE MÉXICO**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN GEOLOGÍA APLICADA

P R E S E N T A

AURORA ZAVALA MONSIVAIS

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ RAFAEL BARBOZA GUDIÑO

Alumno becado por:
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
(CONACYT)

Clave: 178088



San Luis Potosí, S. L. P.

Febrero de 2008



26 de abril de 2007

**A LA ING. AURORA ZAVALA MONSIVÁIS
P R E S E N T E. -**

En atención a su solicitud de Tema y Temario, presentado por el Dr. José Rafael Barboza Gudiño, Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestría en Ciencias en Geología Aplicada**. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 26 de abril del presente año, fue aprobado el Tema y Temario propuesto:

TEMARIO:

"PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS SILICICLÁSTICOS DEL TRIÁSICO SUPERIOR EN EL CENTRO Y NORESTE DE MÉXICO"

1. Introducción.
 2. Afloramientos del Mesozoico Temprano en el Centro y Noreste de México.
 3. Caracterización de facies sedimentarias.
 4. Procedencia de los sedimentos clásticos.
 5. Conclusiones y Recomendaciones.
- Bibliografía.
Anexos.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

**ING. JOSÉ ARNOLDO GONZÁLEZ ORTÍZ
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCION**

'bcb

INDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABLAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	I
1.1 Objetivo	1
1.2 Localización y vías de acceso	1
1.3 Fisiografía	5
1.4 Marco geológico regional	7
1.5 Estado actual de las investigaciones	8
1.6 Metodología	15
2. AFLORAMIENTOS DEL MESOZOICO TEMPRANO EN EL CENTRO Y NORESTE DE MEXICO	17
2.1 EL TRIÁSICO MARINO DE ZACATECAS Y SAN LUIS POTOSÍ	17
2.1.1 Afloramientos de la Sierra de Charcas-La Tapona	17
2.1.2 Afloramientos de la Sierra de Catorce	18
2.1.3 Afloramientos de área de La ballena, Zacatecas	19
2.2 EL TRIÁSICO CONTINENTAL DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS	21
2.2.1 Afloramientos de la región de Galeana-Pablillo, Nuevo León	21
2.2.2 Afloramientos del Anticlinorio Huizachal-peregrina	23
3. CARACTERIZACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS	25
3.1 EL ABANICO SUBMARINO DE EDAD TRIÁSICA DE LOS ESTADOS DE SAN LUIS POTOSÍ Y ZACATECAS	25
3.2 LAS FACIES FLUVIALES DEL TRIÁSICO TARDÍO DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS	32

4.	PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS CLÁSTICOS	40
4.1	PETROGRAFÍA	40
4.2	GEOQUÍMICA	50
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANEXOS	79
	ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de las áreas de estudio.	3
Figura 2.	Provincias Fisiográficas.	7
Figura 3.	Alternancia de capas de areniscas con lutitas. Arroyo San Rafael, Charcas.	18
Figura 4.	Abundancia de lutitas intercaladas con esporádicas capas de arenisca.	20
Figura 5.	Vista panorámica del Cerro La Nieve, en el área de San Marcos.	22
Figura 6.	Secuencia de capas rojas expuesta en el Cañón El Alamar.	23
Figura 7.	Geometría y nomenclatura de un abanico submarino.	27
Figura 8.	Plano geológico del área de La Ballena.	29
Figura 9.	Plano geológico del área de Charcas.	30
Figura 10.	Perfiles litológico y sedimentológico, medidos en las áreas de Charcas y La Ballena.	31
Figura 11.	Plano geológico del área de San Marcos.	34
Figura 12.	Perfil litológico y sedimentológico medido en el área de San Marcos.	35
Figura 13.	Estructuras cilíndricas perpendiculares a la estratificación, producto de bioturbación, dentro de las capas de limolita y lutita.	36
Figura 14.	Plano geológico del área del Cañón El Alamar.	37
Figura 15.	Perfil litológico y sedimentológico, medido en el Cañón El Alamar.	38
Figura 16.	Madera petrificada entre las capas de areniscas, dentro de la secuencia expuesta en el Cañón El Alamar.	39
Figura 17.	Contenido modal de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir del diagrama QFL de Dickinson (1986).	42
Figura 18.	Diagramas ternarios para clasificación de areniscas.	46
Figura 19.	Diagramas triangulares para discriminación de ambientes de procedencia de Dickinson and Suczeck (1979) y Dickinson (1983).	48
Figura 20.	Diagrama de clasificación de areniscas.	52
Figura 21.	Diagrama que representa la relación Na_2O/K_2O en las arcosas y en las grauwaecas.	53

Figura 22	Diagrama de clasificación de areniscas propuesto por Blatt et al., (1972).	54
Figura 23	Diagrama de discriminación de ambientes tectónicos propuesto por Bathia (1983).	55
Figura 24	Diagramas de discriminación de ambientes tectónicos de depósito, propuestos por Roser y Korsch (1986).	56
Figura 25	Diagramas ternarios de discriminación tectonosedimentaria basados en elementos traza, propuestos por Bathia y Crook (1986).	60
Figura 26	Diagrama que muestra el enriquecimiento de Circón en los sedimentos.	61
Figura 27	Abundancia de los elementos de tierras raras normalizados a Condrito.	64
Figura 28	Abundancia de los elementos de tierras raras normalizados a NASC.	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Características principales de las litofacies de un abanico submarino.	25
Tabla 2.	Características generales de las litofacies fluviales.	32
Tabla 3.	Determinación de la procedencia y ambiente tectónico a partir de la composición QFL de las areniscas.	43
Tabla 4.	Resultados obtenidos del método por conteo de puntos.	44
Tabla 5.	Resultados obtenidos de los análisis geoquímicos en roca total, por elementos mayores.	51
Tabla 6.	Concentración promedio de algunos elementos y relaciones traza en los diferentes ambientes tectónicos (Bathia y Crook, 1986).	58
Tabla 7.	Resultados obtenidos de los análisis geoquímicos en roca total, por elementos traza.	59
Tabla 8.	Resultados obtenidos de los análisis geoquímicos en roca total, de elementos de tierras raras.	62

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACYT por haberme otorgado la beca para continuar con mis estudios de posgrado. Mi agradecimiento de manera muy especial al Dr. José Rafael Barbosa Gudiño por aceptarme como su tesista; además debo mencionar mi gratitud por sus enseñanzas, apoyo y críticas hechas para el desarrollo de este trabajo, además de su paciencia para esperar la conclusión del mismo y permitirme colaborar en su proyecto de investigación PROADU 2003 - 01-24- 001-53 " Relaciones paleogeográficas y evolución de las facies marina y continental del Triásico Superior del centro y noreste de México" y el convenio de recursos concurrentes C03-FRC-06-12.13 relacionado al mismo proyecto. Del mismo modo agradezco al Dr. Javier Castro Larragoitia, coordinador del Posgrado en Geología aplicada del Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

A mi padre y a mis hermanos mi agradecimiento por su apoyo siempre incondicional y por estar siempre cuando los necesito, por darme el regaño, el consejo, el abrazo, muchas gracias.

Gracias a mi esposo Daniel por todo su cariño, confianza, apoyo y ayuda para la realización de este trabajo, en el cual lo conocí y me case con él.

Hago patente mi agradecimiento a todos y a cada uno de los integrantes del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por su compañerismo, amistad, apoyo y enseñanzas recibidas.

Agradezco a mis compañeros de maestría Daniel, Juan Manuel, Javier y Justino por todos los momentos agradables que pasamos en clases, además por su compañerismo y amistad brindados.

De igual forma agradezco al Ing. Juan Manuel Torres Aguilera por brindarme su amistad y su valiosa ayuda en la descripción de las secciones delgadas. Así como al Ing. Miguel Mayer Tanguma. Al Ing. Erasmo Mata Martínez por su asesoría en la elaboración de las secciones delgadas.

Quiero expresar mi agradecimiento muy especial al Ing. Margarito Tristán por escucharme y por sus consejos en los momentos pesados, así mismo agradezco al Ing. Ramón Torres. Al Dr. Alfredo Aguillón Robles por sus comentarios y sugerencias.

Especialmente dedico este trabajo a una personita muy hermosa y valiosa para mi, mi hija María Inés, mi regalo más valioso de la vida.

RESUMEN

La secuencia turbidítica del Triásico Tardío expuesta en los Estados de San Luis Potosí y Zacatecas, está constituida por areniscas y areniscas conglomeráticas alternando con limolitas y lutitas. Estos depósitos conocidos como Formación Zacatecas fueron acumulados en una pendiente en la margen continental pasiva del oeste de Pangea. Por otro lado, depósitos continentales de edad similar están expuestos en varias localidades, en los Estados de Nuevo León y Tamaulipas, estos depósitos están constituidos por capas gruesas de areniscas de grano grueso a medio, pasando hacia arriba a areniscas de grano más fino y a limolitas, observándose ocasionalmente lutitas, los cuales han sido interpretados como depósitos de canal que cambian hacia depósitos de planicies de inundación en un sistema de río anastomosado. Esta secuencia ha sido incluida como parte inferior de la Formación Huizachal o Formación La Boca, las cuales incluyen depósitos del Triásico y del Jurásico Temprano.

Estudios petrográficos y análisis de elementos mayores y traza incluyendo tierras raras han sido realizados a las areniscas pertenecientes a estas dos secuencias, con la finalidad de determinar su marco tectónico y definir su procedencia. La mayoría de las muestras reflejan un enriquecimiento en cuarzo, con menor proporción de feldespato y un empobrecimiento en fragmentos líticos, mostrando como fuente de aporte de los sedimentos un bloque continental y un orógeno reciclado. Geoquímicamente las areniscas son clasificadas como arcosas, arenitas líticas y grauwacas. Las relaciones Al_2O_3/SiO_2 y K_2O/Na_2O y el contenido de Ti_2O son concordantes con el ambiente de margen pasivo. La relación Th/Sc y La/Sc sugieren una fuente de aporte félsica para estos sedimentos; así mismo la relación Zr/Sc nos indica que estas areniscas no han tenido mucho transporte. Los elementos de tierras raras normalizados a Condrito reflejan un enriquecimiento en las tierras raras ligeras sobre las tierras raras pesadas y una anomalía negativa de Europio, apoyando una sedimentación en una margen pasiva. De igual forma estos valores normalizados a NASC muestran patrones muy planos, reflejando una procedencia de corteza continental antigua o de rocas sedimentarias recicladas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO

Con el presente trabajo se pretende contribuir al conocimiento de las relaciones estratigráficas y de la paleogeografía del Mesozoico Temprano en el centro y noreste de México, realizando un análisis de procedencia de componentes clásticos por métodos petrográficos y geoquímicos, esencialmente de las secuencias sedimentarias continentales y marinas del Triásico Superior que afloran en los estados de San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas. Así mismo, determinar el origen del aporte de los sedimentos que conforman dicha secuencia; si es el mismo en cuanto a su composición y ambiente tectónico de procedencia, así como la caracterización y distribución de las diferentes facies y/o subfacies sedimentarias.

1.2 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

Las áreas de estudio para el presente trabajo han sido los diferentes afloramientos aislados de capas rojas continentales pertenecientes al Triásico Superior que afloran en el flanco occidental del Anticlinorio Huizachal - Peregrina, en el Estado de Tamaulipas; en el área del Cañón del Alamar y área de San Marcos, en el Estado de Nuevo León, dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental; así como capas de facies marinas pertenecientes a la misma edad expuestas en la Sierra de Catorce y en el área de Charcas, en el Estado de San Luis Potosí y en el área de La Ballena en el Estado de Zacatecas, dentro de la Provincia Fisiográfica Mesa Central (Figura 1).

Afloramientos en el área de La Ballena, Zacatecas. El área de La Ballena se localiza entre los límites de los Estados de San Luis Potosí y Zacatecas aproximadamente a 83 km, al noroeste de la capital del estado de San Luis Potosí. Esta área cuenta con dos importantes vías de acceso desde la Ciudad de San Luis Potosí: 1) por la carretera Federal No. 49 tramo San Luis Potosí - Zacatecas, tomando el entronque a Pinos - Zacatecas en el km 74, el cual nos lleva hasta el poblado de Villa Hidalgo, Zacatecas; de ahí se toma una terracería, la cual es transitable en todas las épocas del año y pasa por las rancherías de Rancho Nuevo, El

Tepetate, Cerro Prieto y La Ballena. 2) por la carretera Federal No. 49, prosiguiendo por el entronque a Pinos-Zacatecas hacia el poblado de La Pendencia, desviándose aproximadamente 5 km, antes de llegar a dicho poblado por una terracería transitable en todas las épocas del año, la cual nos conduce hasta el poblado de La Ballena.

Afloramientos al oeste de Charcas. El área de Charcas se encuentra aproximadamente a 130 km. al norte-noroeste de la Ciudad de San Luis Potosí. Se llega a esta localidad partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí por la carretera federal No. 49 hasta el entronque con la carretera estatal No. 63, ubicado a 28 km al poniente de la Ciudad de San Luis Potosí. A partir de este entronque se pasa por las cabeceras municipales de Ahualulco, Moctezuma y Venado, hasta llegar a Charcas. De ahí se toma la carretera que va a Santo Domingo, desviándose aún en las inmediaciones de Charcas, hacia las comunidades de La Trinidad y San Rafael, de ahí podemos tomar veredas o terracerías hacia las zonas de interés.

Afloramientos del área de Presa de Santa Gertrudis. El área de Santa Gertrudis se encuentra localizada en la parte noroccidental de la Ciudad de San Luis Potosí aproximadamente a 170 km. Se llega a esta área partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí por la carretera federal No. 49 hasta el entronque con la carretera estatal No. 63, ubicado a 28 Km al poniente de la Ciudad de San Luis Potosí. Esta carretera nos conduce hasta el municipio de Charcas, de donde se continúa por la carretera que va a Santo Domingo, tomando la desviación que conduce a las localidades de Coyotillos y Guadalupe Victoria de donde parte un camino hacia el noroeste, el cual nos conduce al área de La Tapona y siguiendo por terracería se llega hasta el área de 5 estrellas en las inmediaciones de Presa de Santa Gertrudis.

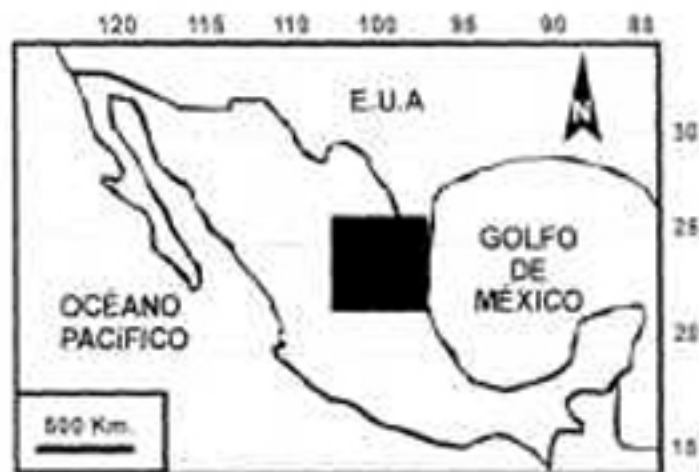
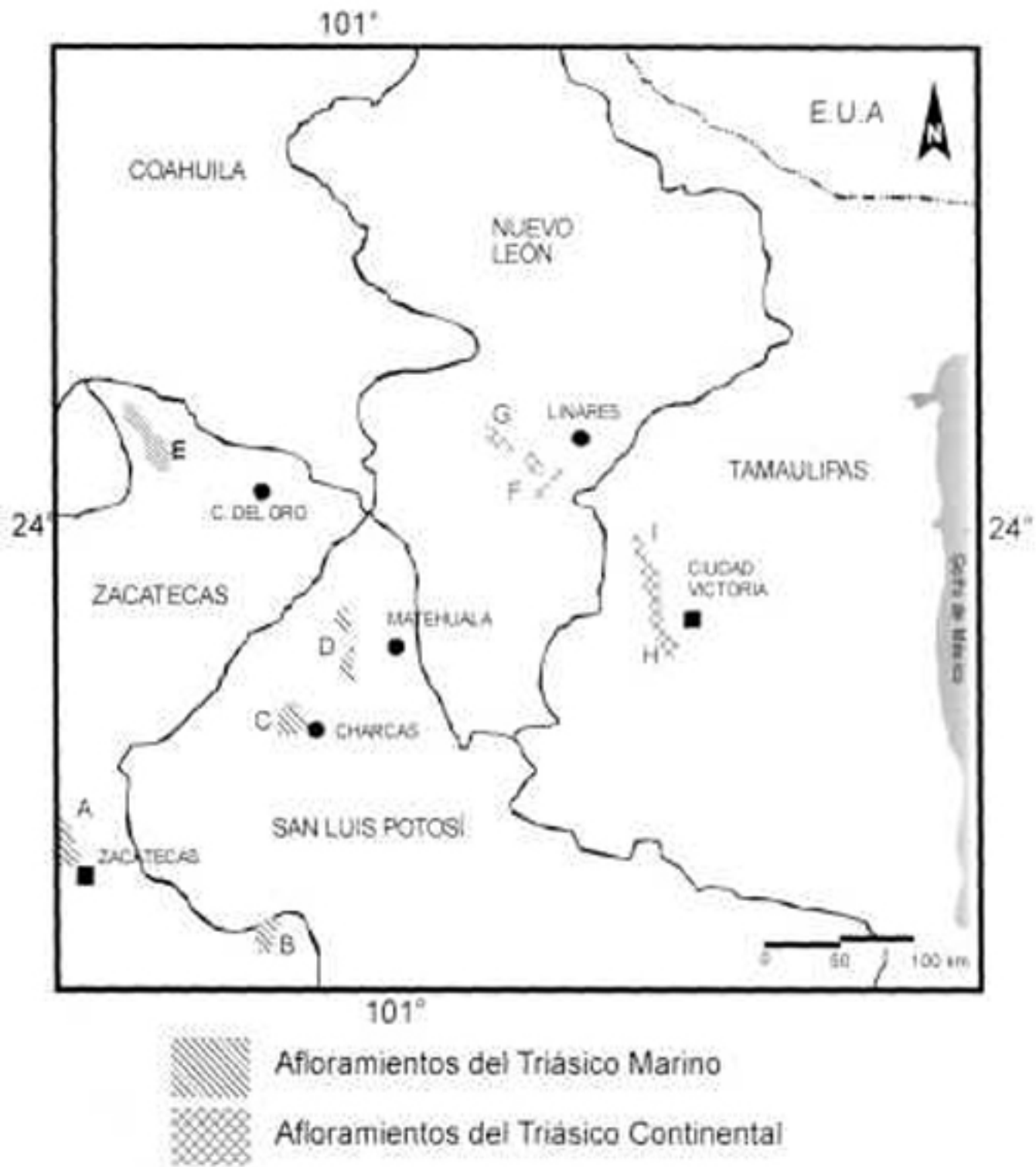


Figura 1. Localización de las áreas de estudio. A. Zacatecas, B. Peñón Blanco, C. Charcas, D. Sierra de Catorce, E. Sierra de Teyra, F. Cañón de El Alamar, G. Área de San Marcos, H. Cañón de El Novillo, I. Cañón de La Boca.

Afloramientos del Cañón General en Real de Catorce. La Sierra de Catorce se ubica aproximadamente a 200 km. al norte de la ciudad de San Luis Potosí. El área cuenta con importantes vías de comunicación desde la Ciudad de San Luis Potosí; partiendo por la autopista Federal No. 57, tramo San Luis Potosí-Matehuala y continuando por la misma hasta el entronque con la carretera estatal No. 62, pasando por Cedral y continuando por la misma hasta el entronque que conduce a la cabecera municipal de Real de Catorce, de donde se puede partir por terracería a las áreas de afloramiento. Otra vía importante es siguiendo por el tramo Cedral-Estación Vanegas por la carretera estatal No. 62 y continuando por camino pavimentado hasta Estación Catorce, siguiendo desde aquí por una terracería transitable en todas las épocas del año, hasta el área de interés, en los alrededores del poblado Los Catorce. También se puede llegar a la localidad por la autopista No. 57, tramo San Luis Potosí-La Bonita, continuando por la carretera estatal No. 63, la cual nos conduce a Charcas. Aproximadamente a 35 km. inmediatamente después del cruce de la vía del ferrocarril, se encuentra una desviación, la cual es transitable en toda época del año y que nos conduce a los poblados de Guadalupe, El Carnicero y Estación Catorce, continuando por terracería hasta el afloramiento.

Afloramientos de la región de Galeana, Nuevo León. El acceso desde la ciudad de San Luis Potosí es por la autopista Federal No. 57. Siguiendo desde Matehuala hacia el entronque San Roberto y continuando por la carretera Federal No. 31 hasta la localidad de San Marcos, en donde existen afloramientos de areniscas rojas a ambos lados de la carretera y en los cerros aledaños. Continuando por la misma carretera hasta el entronque con la carretera Federal No. 31, y siguiendo desde aquí hacia el sur se llega a los afloramientos del área de Santa Clara. Finalmente, continuando hacia el sur por la misma carretera hasta llegar al poblado de Pablillo, se puede continuar por un camino hacia el este que nos conduce hasta el área de los Cañones El Alamar y La Perra, pasando por los ranchos El Encinal, El Taray y El Alamar de Solís, ya dentro de la cadena alta de la Sierra Madre Oriental, en donde aflora tal vez el mayor espesor conocido de la secuencia triásica en el noreste de México. Otra vía de comunicación importante es partiendo de la Ciudad de Linares, Nuevo León hasta interceptar las mismas rutas antes descritas.

Anticlinorio Huizachal–Peregrina. El Anticlinorio Huizachal–Peregrina es una estructura orientada noroeste–sureste al poniente de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Dicha estructura es disectada por una serie de cañones que constituyen excelentes afloramientos de rocas prejurásicas. El acceso a estos cañones es a través de caminos que parten desde la terracería que une a Ciudad Victoria con los poblados de La Misión, Estación Caballeros, Estación Carbonera y Estación Martínez hacia el norte. Desde estos poblados parten los caminos que conducen hasta los cañones de Peregrina, Caballeros y La Boea, respectivamente. Partiendo de Ciudad Victoria por la carretera Federal No. 101 en dirección a Jaumave y Tula, se puede llegar a los cañones de El Novillo y Huizachal, el primero se encuentra en las afueras de Ciudad Victoria y el segundo a 16 km al suroeste de dicha Ciudad. Nuevos afloramientos han quedado expuestos en la autopista que opera desde el año 2003 y pasa por el poblado del Huizachal en el fondo del valle, uniendo el Valle de Jaumave con la planicie de Ciudad Victoria a lo largo del Arroyo de Juan Capitán.

1.3 FISIOGRAFÍA

Los afloramientos del Triásico Superior que afloran en el noreste de México se ubican en la parte central de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y las secuencias expuestas en la parte central de México se encuentran en la parte nororiental de la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central e inmediaciones de la parte occidental de la Sierra Madre oriental (Figura 2).

La Provincia de la Sierra Madre Oriental es un sistema montañoso constituido esencialmente por rocas sedimentarias plegadas mesozoicas, las cuales descansan sobre basamento Precámbrico y Paleozoico, predominando los afloramientos de calizas cretácicas. Se extiende desde los estados de Coahuila y Nuevo León, hasta el sistema Volcánico Transmexicano. Tiene una orientación predominante hacia el noroeste, presentando tras una curvatura o saliente a partir de la Ciudad de Monterrey, un sector transversal este – oeste hasta la Ciudad de Torreón. Este sistema montañoso tiene la característica de presentar grandes sistemas cavernosos, como consecuencia de la disolución de las rocas calcáreas. La diversidad climática que presenta, condiciona procesos exógenos, que incluyen la formación de grandes mantos de piedemonte en el norte, karst en

el sur y erosión fluvial por corrientes montañosas permanentes en el centro-sur. Las topoformas existentes son sierras y valles.

La Provincia de la Mesa Central se encuentra delimitada al occidente por la Sierra Madre Occidental, al norte y al este por los plegamientos de la Sierra Madre Oriental y al sur por el Cinturón Volcánico Transmexicano. Su morfología esta representada por una altiplanicie rodeada de sistemas montañosos, con una superficie inclinada de sur a norte, sobre la cual se asientan montañas aisladas y conjuntos de estas, constituidos por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias, así como serranías constituidas por rocas mesozoicas sedimentarias plegadas, con algunas rocas intrusivas y metamórficas aisladas. Son comunes las mesas neogénicas y cuaternarias de basalto, así como las superficies de piedemonte. El escurrimiento, es en general, de poca extensión y predomina el proceso de erosión de retroceso lateral de las vertientes montañosas, con un constante crecimiento de los mantos de piedemonte, por desembocadura de los arroyos y caída de rocas (Hubp, 1990).

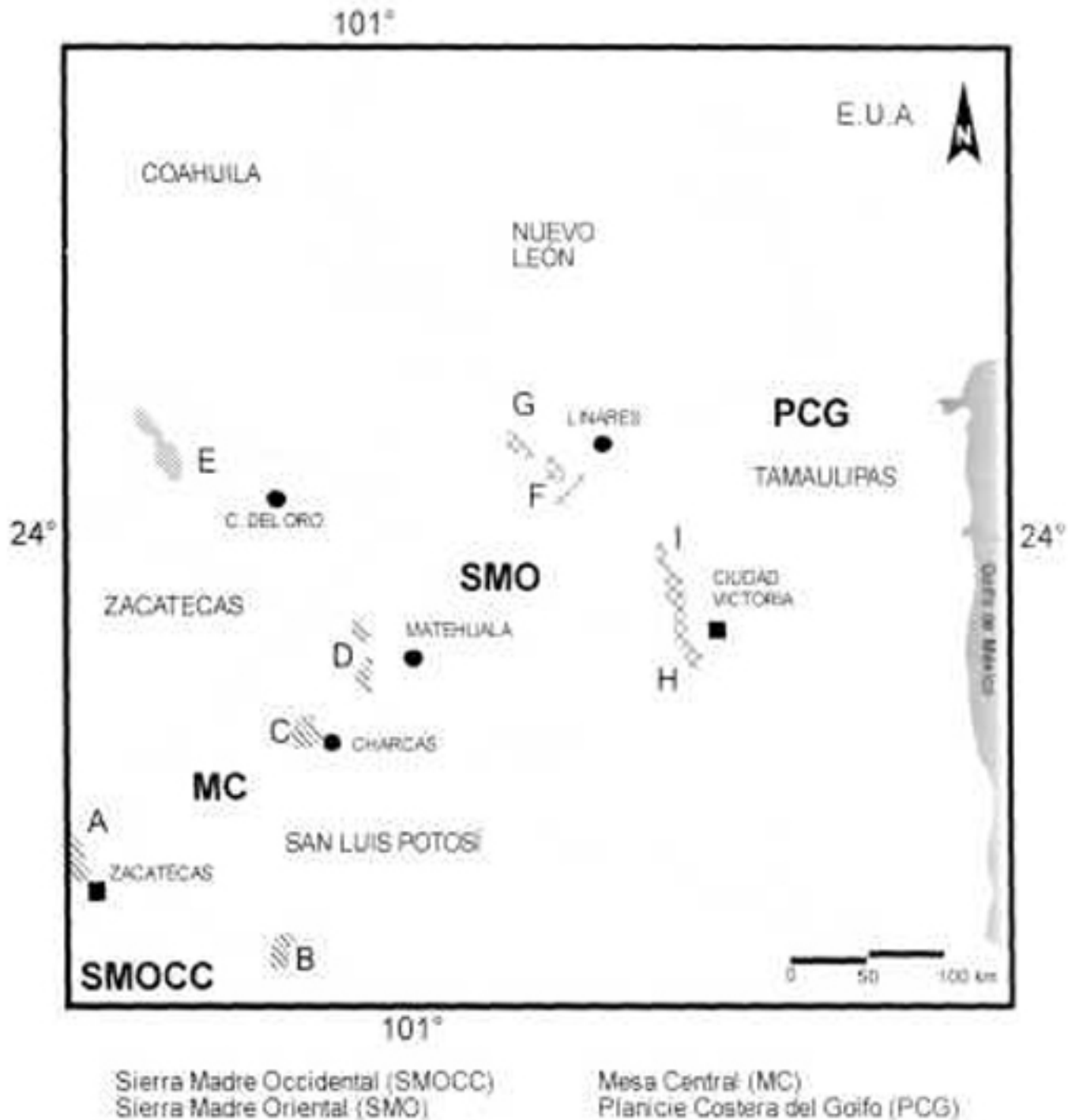


Figura 2. Provincias Fisiográficas

1.4 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El Mesozoico Temprano en la región noreste de México esta representado por escasos afloramientos de una secuencia de capas rojas continentales conocidas como Formación Huizachal (Imlay et al., 1948) ó Formación La Boca (Mixon, 1958), las cuales representan un prolongado periodo de emersión en esta parte del país. Estas capas se encuentran en discordancia angular cubriendo a sedimentos de edad Paleozoica y en algunas localidades a rocas metamórficas del Precámbrico y subyacen en fuerte discordancia angular a sedimentos clásticos continentales conocidos como Formación La Joya (Mixon, 1958) del Jurásico Medio y en ocasiones a sedimentos evaporíticos y calcáreos correspondientes a la transgresión marina del Jurásico Superior (Carrillo-Bravo, 1961).

Hacia la parte central del país, la unidad más antigua conocida es una secuencia siliciclástica marina, compuesta por lutitas y areniscas con fósiles del Triásico Superior, nombrada como Formación Zacatecas por Carrillo-Bravo (1968) ó Formación La Ballena (Silva-Romo, 1993) la cual se encuentra subyaciendo de manera discordante a la secuencia discontinua de rocas volcánicas y volcanosedimentarias que conforman a la Formación Nazas del Jurásico inferior a Medio, la cual a su vez, es sobre yacida discordantemente por sedimentos clásticos continentales de la Formación La Joya, que representan la base de la transgresión marina. Sobre estas secuencias tanto en el norte como en el centro se depositaron de forma transicional las facies evaporíticas y calcáreas correspondientes a la transgresión marina, continuando los depósitos carbonatados que dan lugar a la secuencia del Jurásico Superior-Cretácico Superior, la cual ha sido en numerosos puntos desprendida y deformada de manera independiente de las unidades subyacentes.

1.5 ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES

Las secuencias sedimentarias que subyacen a capas marinas de edad Jurásico Medio a Superior en el centro y noreste de México, han sido objeto de diversos estudios con la finalidad de definir un marco tectónico, las relaciones que guardan con las unidades subyacentes y supra yacentes, así como para determinar una edad para dichos depósitos. Sin embargo, hasta hace poco tiempo dichos estudios no se habían realizado a detalle, y aunque los diferentes autores les han asignado una edad en las diferentes áreas, ha surgido una gran confusión al haber correlacionado de manera indistinta las diferentes unidades, basándose simplemente en semejanzas litológicas, incluyendo en la mayoría de las áreas a todas las capas rojas en una sola formación, sin llegar a considerar que estas puedan corresponder a diferente edad y por lo tanto a diferente medio ambiente. Lo anterior se ha convertido así en un tema de controversia, debido a la escasez de datos paleontológicos para determinar la edad de forma más precisa y poder definir los límites estratigráficos y la relación infra y suprayacente que existe entre las diferentes unidades. Esto especialmente, ha ocurrido en la parte noreste de México, en donde Seemes (1921) describió y nombro informalmente Formación Huizachal, a una secuencia de capas continentales que afloran en el valle del mismo nombre, asignándoles una edad Triásica, en un reporte que elaboró para la Compañía Mexicana del Petróleo "El Águila" (en Imlay et al, 1948). Imlay (1948, 1952)

propone formalmente utilizar el nombre de Formación Huizachal, para las capas rojas que sobreyacen a rocas Paleozoicas o probablemente Precámbricas y que subyacen, en discordancia angular o erosional a capas marinas del Jurásico Superior. Designando el Valle del Huizachal, 20 Km. al suroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas, como la localidad tipo para la secuencia sedimentaria y asignándole una edad del Calloviano-Oxfordiano. Dicha edad fue rechazada por DeCserna (1956), quien propone una edad del Triásico Tardío al Jurásico Temprano.

Mixon et al., (1959) dividieron la secuencia de lechos rojos en dos formaciones separadas por una discordancia angular. A la formación inferior la denominaron Formación La Boca, asignándole una edad del Triásico tardío y a la formación superior la llamaron Formación La Joya. Reuniendo ambas formaciones dentro del Grupo Huizachal. Carrillo-Bravo (1961), retoma el nombre de Formación Huizachal, para las capas rojas del Triásico Superior, que afloran en el Anticlinorio de Huizachal – Peregrina y propone como localidad tipo el Valle del Huizachal, aproximadamente a 20 km. al SW de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Estas capas se encuentran cubriendo en discordancia angular, en algunas localidades a rocas Paleozoicas y en otras, a rocas de probable edad Precámbrica. Subyaciendo también, en discordancia angular a sedimentos rojos de probable edad Jurásico Superior. Menciona que, dicha formación esta mejor expuesta y más completa en el Cañón de La Boca. Según su interpretación, las capas rojas del Triásico Superior, corresponden a las capas rojas descritas originalmente por Seemes (1921). Emplea el nombre de Formación La Joya de Mixon (1958), para los sedimentos rojos de la base del Jurásico Superior. Belcher (1979), describe la estratigrafía y realiza estudios paleomagnéticos de las Formaciones La Boca y La Joya, en los cañones al poniente de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Concluye que la Formación La Boca tiene dos edades: Pérmico tardío-Triásico temprano en Miquihuana y Triásico tardío en el Cañón La Boca. Posteriormente Imlay, (1980) reconsidera la edad propuesta en 1952 y establece una edad triásica para la Formación Huizachal y una edad calloviense para la Formación La Joya. Clark y Hopson (1985) y Fastovsky et al., (1987) proponen una edad Jurásico Inferior-Jurásico Medio para la Formación Huizachal, basados en el estudio de vertebrados encontrados en la base de dicha formación. Michalzik (1988), realizó estudios

sedimentológicos y estratigráficos en el Cañón El Alamar y en el área de San Marcos, en la región de Galeana N.L., concluyendo que las formaciones La Boca y La Joya representaban dos facies y dos tiempos diferentes.

Estudios más recientes sobre las capas rojas del noreste de México, son los de Rueda-Gaxiola et al., (1993a, 1993b), quienes realizaron estudios palinoestratigráficos, petrográficos y petrológicos, en la secuencia de lechos rojos que aflora en el Anticlinorio de Huizachal-Peregrina. En dichos estudios, dividen a la Formación La Boca (Mixon et al., 1959) o Formación Huizachal (Carrillo Bravo, 1961), en seis palinozonas (A-F) y a la Formación La Joya (Mixon et al., 1959), en dos palinozonas. Con base en esto definieron formalmente una Aloformación Huizachal (palinozona A), constituida por los Alomembros Río Blanco y Volcanosedimentario y una Aloformación La Boca (palinozonas B-F). Proponiendo así, formalmente unificar en el Alogrupo Los San Pedros, a ambas Aloformaciones y designan como sección tipo, a la secuencia de lechos rojos que aflora en el Cañón de La Boca. Determinaron una edad Sinemurensis-Pliensbachensis para la Aloformación La Boca y suponen una edad Hettangensis o Rethiensis Tardía para la Aloformación Huizachal, correlacionándolas con el Grupo Huayacocotla (Schmidt-Effing, 1980) que aflora en el Anticlinorio de Huayacocotla. Estos mismos autores en 1997, determinaron las condiciones de depósito de las palinozonas previamente descritas. Definiendo así, que la Aloformación Huizachal se depositó bajo condiciones de muy alta inestabilidad tectónica (etapa de "rifting") y la Aloformación La Boca en un ambiente continental con influencia marina, bajo condiciones de inestabilidad tectónica (etapa de "drifting"). Montellano-Ballesteros et al. (1995), en un estudio de la fauna de vertebrados Jurásicos del Cañón del Huizachal, dividen a la secuencia que subyace en forma discordante a la Formación Zuloaga, en cuatro unidades: la unidad basal consiste de una secuencia volcanoclástica plegada, sobre la cual descansa en discordancia angular la Formación La Boca. Consistiendo esta última, de una parte inferior fosilífera y una parte superior, de una alternancia de areniscas y lutitas. Las cuales, a su vez, subyacen en discordancia angular al conglomerado de la Formación La Joya. En su interpretación, ellos consideran que la unidad basal volcanoclástica, corresponde a la Aloformación Huizachal de Rueda-Gaxiola et al., (1991). En base a la abundancia de esfenodóntidos y

trifilodóntidos encontrados en dicho cañón, proponen una edad tentativa del Jurásico Inferior a Medio.

Hacia el centro de México, la presencia de rocas triásicas ha sido documentada desde inicios del siglo pasado por Burekhardt y Scalia (1905, 1906) quienes describieron la secuencia marina que aflora a lo largo del Arroyo Calavera ó Pimienta al oeste de la Ciudad de Zacatecas, reportando por primera vez fauna marina del triásico, lo que les permitió asignarles una edad del Triásico Superior (Cárnico), sin haber podido establecer claramente las relaciones de las diferentes facies. Más tarde Gutiérrez – Amador (1908) realizó estudios en las pizarras de Zacatecas, asignándoles una edad Cárnica y nombrándolas inicialmente como “Formación Triásica de Zacatecas”.

Rogers et al., (1957), en un mapeo geológico en el área de Concepción del Oro, al Oeste de Cedros, en el Estado de Zacatecas. Se refieren a capas rojas pre-Cretácicas de aquella región como Formación Huizachal y suponen una edad del Calloviano Tardío u Oxfordiano Temprano. Rogers (1961), supone que las rocas pre-Oxfordianas que afloran en el área de la Sierra de Teyra-Sierra de San Julián, son equivalentes a la Formación Huizachal. Posteriormente Chávez-Aguirre (1968) y Cantú-Chapa (1969), reportaron localidades con fauna del Triásico Medio a Superior en los Estados de Zacatecas y San Luis Potosí, respectivamente. Carrillo-Bravo (1971), propone correlacionar con la Formación Zacatecas, a una secuencia de areniscas y limolitas con fósiles marinos del Triásico Superior, expuestas al oeste del poblado de Charcas. Debido a su similitud litológica con las rocas reportadas por Burekhardt y Scalia (1905) y Burekhardt (1930) cerca de la Ciudad de Zacatecas (en Bartolini et al., 2001).

McGehee (1976), realizó estudios petrológicos en la secuencia de rocas metasedimentarias, que aflora en el Arroyo de La Pimienta al oeste de la Ciudad de Zacatecas, dividiendo a dicha secuencia en cinco unidades, dadas sus características litológicas y estructurales.

Recientemente Monod y Calvet (1992), subdividen a las rocas triásicas que afloran al oeste de la Ciudad de Zacatecas en tres formaciones: de la más joven a la más antigua:

Formación La Pimienta (una unidad volcanoclástica), Formación El Bote (unidad Flyschoide), Formación El Ahogado (una unidad de metaarcillas).

Tristán-González et al., (1992), en un estudio realizado en el área de Charcas, al norte del Estado de San Luis Potosí. Describen a la Formación Zacatecas, como una secuencia flyschoide de edad Cárnico Inferior, de acuerdo al dato aportado por Cantú-Chapa (1969), quién recolecto un fósil, 10 km. al NW de Charcas.

Silva-Romo (1993), realizó un estudio estratigráfico en la Sierra de Salinas, entre los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. En el cual, describe una secuencia turbidítica cuarcítica, afectada por metamorfismo de facies esquistos verde con amonoides y pelecipodos del Triásico Tardío. Interpretando para dicha secuencia un abanico submarino como el ambiente de depósito. Nombrándola informalmente Formación La Ballena.

Tristán-González et al., (1995), realizaron la cartografía de la Hoja Presa de Santa Gertrudis, al noroeste del Estado de San Luis Potosí. En dicho trabajo, ellos se refieren a las rocas triásicas que afloran en esta área, como Formación Zacatecas. Dada su semejanza con las rocas de edad Triásico Superior, que se encuentran en el área de Peñón Blanco y en la Sierra de Charcas. La secuencia consiste de areniscas, lutitas y conglomerados con metamorfismo regional débil.

Barboza-Gudino et al., (1998, 1999), basados en estudios estratigráficos, paleontológicos, geoquímicos y geocronológicos, realizados por otros autores, y en base a sus observaciones de campo y estudios petrográficos. Proponen marcos tectónicos, para cada una de las unidades estratigráficas, que subyacen a los depósitos oxfordianos del centro y noreste de México: 1) Formación Zacatecas, como una secuencia turbidítica del Triásico Superior. Relacionada a la evolución de la margen pasiva a margen activa en el oeste de Norte América. 2) Formación Nazas, como producto del volcanismo de arco del Triásico Superior – Jurásico Inferior. 3) Formación Huizachal, productos volcánicos y sedimentos fluviales y aluviales, depositados en una probable cuenca tras-arco. 4) Formación La Boca, depósitos continentales relacionados al rompimiento de Pangea o a la misma cuenca tras-arco. 5) Formación La Joya, relacionada a la apertura del Golfo de México. Además, proponen

mantener los nombres de Formación Huizachal y Formación La Boca, para las unidades propuestas por Rueda-Gaxiola et al. (1993a, 1993b) como Aloformaciones Huizachal y La Boca. Debido al carácter volcanogénico y volcanoclástico de la primera y la naturaleza sedimentaria de la segunda.

Bartolini (1998, 1999), estudió la secuencia volcano-sedimentaria del Triásico Superior-Jurásico Medio que aflora en el centro y noreste de México. En dicho estudio realiza una breve descripción, de las capas rojas correspondientes al Grupo Huizachal. Las cuales aparentemente son correlacionables con el Grupo Huayacocotla. Proponiendo que el Grupo Huizachal (formaciones La Boca y La Joya de Mixón 1958), se depositó en una cuenca tipo "rift" asociada a la apertura del Golfo de México.

Silva-Romo et al., (2000), realizaron un análisis estratigráfico – estructural de la secuencia de edad pre-Jurásico Superior, expuesta en las áreas de La Ballena, San Rafael y al oeste de la Ciudad de Zacatecas, en el Estado de Zacatecas; y en el área de Real de Catorce, en el Estado de San Luis Potosí. En dicho estudio ellos separan a esta secuencia en dos unidades, tomando como base sus características litológicas: La unidad más antigua corresponde a una secuencia turbidítica marina, la cual incluye a las formaciones localmente nombradas como Formación La Ballena (Silva-Romo, 1993), Formación Taray (Córdoba, 1964) y Formación Zacatecas (Carrillo-Bravo, 1968). Sobre estas unidades se encuentra de manera discordante una secuencia volcanosedimentaria, correspondiente a la Formación Nazas (Pantoja-Alor, 1972). Sugieren una edad del Triásico Medio a Superior para la secuencia que aflora en el área de la Ballena y concluyen que dicha secuencia, es más antigua que la secuencia que aflora al oeste de la Ciudad de Zacatecas, la cual corresponde al Triásico Tardío. Consideran que la secuencia, descrita anteriormente como Formación La Pimienta, Formación El Bote y Formación El Ahogado (Monod y Calvet, 1992), corresponden, la primera a la Formación Nazas y las dos últimas a la Formación Zacatecas. Basados en las características sedimentológicas de la secuencia triásica proponen un ambiente de depósito de abanico submarino, interpretando una procedencia de orógeno retrabajado para las areniscas de dicha secuencia.

Bartolini et al., (2001), emplean el nombre de Formación Zacatecas, para nombrar a las secuencias triásicas que afloran en las áreas de Zacatecas, Sierra de salinas y Charcas. Basándose en sus semejanzas litológicas y en el contenido faunístico. Las correlacionan en edad, con la Formación Antimonio y el Grupo Barranca, en el Estado de Sonora. Con la Formación La Boca, en los Estados de Tamaulipas y Nuevo León; y con afloramientos del triásico en el Estado de Baja California.

Hoppe et al., (2002), realizaron estudios sedimentológicos a detalle, en la secuencia triásica marina que aflora en la Sierra de Catorce y en la Sierra de Charcas, en el Estado de San Luis Potosí. Interpretando, en base a similitudes composicionales y de facies, que ambas secuencias se depositaron en un mismo sistema de abanico submarino, el cual se desarrolló en la margen occidental de Pangea. A sí mismo, proponen un bloque continental consolidado como fuente de aporte de los sedimentos que componen a la secuencia. De igual forma realizaron análisis de la Cristalinidad de Illita y de la Reflectancia de Vitrinita, por medio de los cuales, demostraron que dichos sedimentos nunca han estado expuestos a procesos de metamorfismo y solamente presentan un alto grado de diagénesis en transición al anquimetamorfismo.

Barboza-Gudiño et al., (2004), en un análisis estratigráfico y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis potosí, mencionan que la unidad más antigua en el área, corresponde, a una secuencia siliciclástica marina comparable con la Formación Zacatecas (Martínez-Pérez, 1972). Midieron un perfil detallado de 369 m en el Cañón General, en el cual una parte de la secuencia corresponde a una edad pre-Jurásica. Apoyando una edad del Triásico Superior, su posición estratigráfica y semejanza litológica, con la secuencia triásica expuesta en las áreas de Charcas y Presa de Santa Gertrudis. Correlacionándola con estas mismas áreas y con el área de La Ballena, de la Sierra de Salinas, Zacatecas, dado su ambiente de depósito, el cual se ha interpretado como un abanico submarino desarrollado en la margen occidental de Pangea.

1.6. METODOLOGÍA

Como primera actividad para la realización del presente trabajo, se hizo una recopilación y revisión de la información existente sobre las áreas de estudio. Para el trabajo de campo se tomaron como base las hojas topográficas de INEGI: hoja Iturbide (G14-C67), hoja San José de Raíces (G14-C66), hoja Ciudad Victoria (F14-A29), hoja Gúémez (F14-A19), hoja Real de Catorce (F14-A24), hoja Charcas (F14-A43), hoja Presa de Santa Gertrudis (F14-A33), hoja Loreto (F14-A71) escala 1:50,000, para la localización de los afloramientos.

Se realizaron caminamientos a las diferentes áreas de estudio, para el reconocimiento de dichos afloramientos, así como para la medición y descripción de columnas estratigráficas, con la finalidad de describir e interpretar la litología, texturas y estructuras primarias y secundarias a nivel afloramiento y muestra de mano. Además se colectaron una serie de muestras, las cuales fueron preparadas para su estudio petrográfico y análisis geoquímico.

El trabajo de laboratorio, consistió en la preparación y estudio petrográfico de las láminas delgadas, los cuales se llevaron a cabo en los laboratorios de preparación y petrografía del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El estudio petrográfico tuvo como finalidad, la clasificación de las rocas de acuerdo a su composición mineralógica y textura. La realización del conteo de puntos, fue con el fin de determinar cuantitativamente la composición de los fragmentos. Este último se llevo a cabo, utilizando una platina graduada, que permite el movimiento de la lámina delgada, formando una red de puntos en un sistema de coordenadas (x-y). Registrando por cada punto, la composición del grano localizado en el cruce de los ejes del microscopio. Los datos obtenidos se utilizaron para clasificar las muestras, empleando los diagramas propuestos por Heinrich (1972), Fuchbauer (1988) y McBride (1963). Así como, para determinar la procedencia de dichas rocas, utilizando los diagramas de discriminación de marcos tectónicos de áreas de procedencia propuestos por Dickinson y Suezeck (1979) y Dickinson et al., (1983).

La preparación de las muestras seleccionadas para los estudios geoquímicos, se realizó en los laboratorios del Instituto de Geología. Se analizaron 19 muestras en roca total por elementos mayores y traza, incluyendo tierras raras, por el método ICP-MS (Inductively

Couple Plasma Mass Spectrometer) en los laboratorios Actlabs Group of Companies en British Columbia, Canadá. Para la interpretación de los elementos mayores, se utilizaron los diagramas propuestos por Pettijohn et al., (1963 y 1972), Blatt et al., (1972), Bathia (1983) y Roser y Korsch (1986). Así como, algunos elementos traza fueron graficados en los diagramas propuestos por Bathia and Crook (1986) y Mc Lennan (1989a). Los resultados de las Tierras Raras, se normalizaron con los valores de Condrito (Taylor and McLennan, 1985) y de NASC (North American Shale Composite) usando los valores de Gromet et al. (1984).

2. AFLORAMIENTOS DEL MESOZOICO TEMPRANO EN EL CENTRO Y NORESTE DE MÉXICO

2.1 EL TRIÁSICO MARINO DE ZACATECAS Y SAN LUIS POTOSÍ.

Sedimentos marinos del Triásico Tardío afloran al noroeste de la Ciudad de Zacatecas y en el área de Pico de Teyra, al norte del Estado de Zacatecas; así como en la Sierra de Salinas entre el límite de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas; en las áreas de Charcas y Sierra de Catorce, al oeste de San Luis Potosí; así como en varios afloramientos aislados en el área de Presa de Santa Gertrudis y en la Sierra La Taponá, al noroeste de Charcas.

2.1.1 Afloramientos de la Sierra de Charcas-La Taponá. Los afloramientos más extensos están localizados al este de Charcas, en el Anticlinorio San Rafael – La Trinidad, los cuales fueron nombrados por primera vez con el nombre de Formación Zacatecas por Martínez-Pérez (1972), describiendo a la secuencia como una alternancia de limolitas, lutitas y areniscas.

La Formación Zacatecas en el área de Charcas, consiste de una alternancia de lutitas, areniscas, conglomerados y limolitas de color gris oscuro, verde y verde grisáceo en superficie fresca. Observándose normalmente amarillas, amarilla grisácea y café rojiza en color de intemperismo (Figura 3). Las lutitas son fisiles y contienen concreciones. Las areniscas y limolitas varían de capas delgadas a gruesas. Presentan estructuras sedimentarias primarias como marcas de corriente, marcas de carga y laminaciones. Sobre esta secuencia se encuentran de forma discordante las capas rojas de la Formación Nazas. Su contacto inferior es aun desconocido, por no aflorar su base, tomándose como espesor de estos sedimentos 4640 m perforados por PEMEX en un pozo de exploración en el área de La Taponá, situado a 25 km al NW de Charcas. La edad para estos sedimentos ha sido considerada como Cárnico Temprano por Cantú-Chapa (1969), quien identificó un amonite *Juvavites* sp. Esta edad fue confirmada por Gallo-Padilla et al., (1993) y Gómez-Luna et al., (1997), basados en el amonite *Anatomites* aff. *Herbichi* Mojsisovics y el protobelemnoidea *Aulacoceras* sp., encontrados en esta área.

Hacia el área de Presa de Santa Gertrudis, se encuentran pequeños afloramientos de sedimentos triásicos. Los cuales, son muy semejantes a los afloramientos del núcleo del Anticlinal San Rafael–La trinidad. La secuencia consiste de una alternancia de capas de arenisca de grano medio a fino, intercaladas con lutitas fisiles de color gris verdoso. Las cuales, se encuentran cubiertas de manera discordante por los lechos rojos de la Formación Nazas y en ocasiones por las calizas de la Formación Zuloaga. La correlación de esta secuencia, con la unidad Triásica marina de las otras áreas, ha sido en base a su posición estratigráfica y a similitudes litológicas. El espesor para esta área no se ha podido estimar, ya que los afloramientos son pequeñas ventanas.

2.1.2 Afloramientos de la Sierra de Catorce. La secuencia Triásica que aflora en la Sierra de Catorce, está constituida por bancos de lutitas de laminación fina e intercalaciones de limolitas delgadas y capas de arenisca. Las lutitas y limolitas son de color pardo a negro en superficie fresca y las areniscas presentan un color grisáceo. Los mejores afloramientos se encuentran en el “Cañón General” y en el “Cañón de Ojo de Agua”, en la porción noroeste de la Sierra; así como los afloramientos con una secuencia muy similar a dicha unidad se encuentran al sur de la Sierra de Catorce, a lo largo del “Cañón El Astillero”.



Figura 3. Alternancia de capas de arenisca con lutitas, Arroyo San Rafael, Charcas.

No hay registros de fauna triásica en estas capas y la edad Triásica Tardía ha sido intensamente discutida, dado el reporte de presencia de esporas de posible edad Pensilvánico (Bacón, 1978) y la presencia de restos de plantas de posible edad Pérmico (Franco-Rubio et al., 1999). Además se ha reportado la presencia de bivalvos (Martínez-Pérez, 1972), los cuales Barboza-Gudiño et al. (1999), menciona que son moldes muy semejantes a los fósiles *Palaeoneillo* sp. presentes en otras localidades de secuencias triásicas; sin embargo dada su mala preservación no han sido considerados como un dato muy preciso para determinar su edad. Por lo que esta secuencia ha sido correlacionada con las secuencias siliciclásticas triásicas que afloran en las áreas de Charcas y presa de Santa Gertrudis, tomando como base su posición estratigráfica y su similitud en el ambiente de depósito, el cual se ha interpretado como parte de un abanico submarino en la margen suroccidental de Norteamérica. Barboza-Gudiño (en preparación) realizó estudios geocronológicos de circones detríticos, los cuales proporcionan una edad máxima de depósito, con un pico principal de 254 Ma correspondiente al Pérmico Tardío y algunos circones de 235-244 Ma correspondientes al Triásico Temprano, apoyando más probablemente la edad de depósito como Triásico Tardío.

2.1.3 Afloramientos del área de La Ballena, Zacatecas. En el área de La Ballena, en la Sierra de Salinas, la secuencia Triásica Tardía está constituida principalmente por lutitas fisiles intercaladas con limolitas y areniscas de color verde oscuro a negro en superficie fresca. Las areniscas son de grano fino y se presentan en capas delgadas; ocasionalmente se presentan bancos de arenisca y conglomerados, los cuales se encuentran en la cima de los cerros (Figura 4). Son comunes las marcas de carga, marcas de corriente, gradación y marcas de bioturbación. Esta secuencia se encuentra subyaciendo de manera discordante a la Formación Nazas y, en algunas partes dentro de la misma área, a la Formación Zuloaga. El contacto inferior no se encuentra expuesto. La edad de la secuencia en esta área está bien documentada como Triásico Medio–Triásico Tardío, en base a un amonite identificado como *Sirenites* sp., de edad Carnico–Nórico, encontrado al noroeste del pueblo La Ballena por Chávez-Aguirre (1968) y, a fósiles *Clionites* sp., *Palaeoneillo* sp. y *Halobia* sp., encontrados en las orillas del pueblo La ballena por Silva-Romo (1993), los cuales son

muy semejantes a la fauna del Triásico Tardío descrita por Burekhardt (1930) cerca de la Ciudad de Zacatecas.

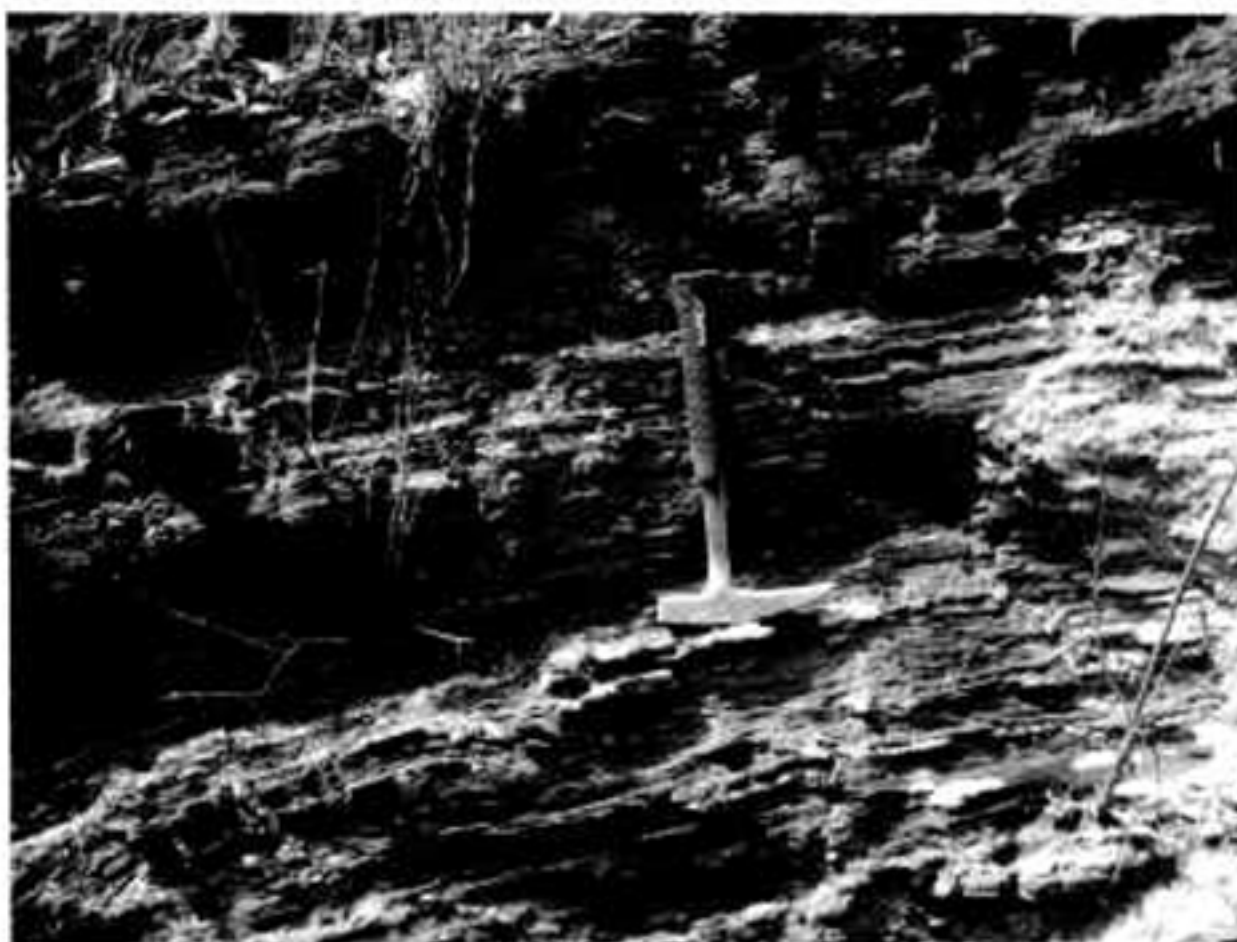


Figura 4. Abundancia de lutitas intercaladas con esporádicas capas de arenisca.

En la Sierra de Teyra, la unidad más antigua aflorante es La Formación Taray, la cual fue nombrada por primera vez de manera informal por Córdoba-Méndez (1964). Esta formación es una secuencia terrígena, constituida por areniscas ricas en cuarzo, lutitas, areniscas conglomeráticas y conglomerados. Para dicha unidad la edad no ha quedado muy clara; ya que ha sido considerada como Paleozoica (Córdoba-Méndez, 1964) y como Triásica (Silva-Romo et al., 1993, 2000; Barboza-Gudino et al., 1998). En base a sus similitudes sedimentológicas y estructurales, esta Formación ha sido correlacionada con la Formación Zacatecas. El contacto inferior de esta unidad no se observa, por lo que se ha considerado como probable basamento de la región (Salgado-Díaz, 2004). Sobre esta unidad se encuentran de forma discordante los lechos rojos de la Formación Nazas.

2.2 EL TRIÁSICO CONTINENTAL DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS.

Los depósitos continentales del Triásico Tardío están expuestos en varias localidades, en los Estados de Nuevo León y Tamaulipas, al sur de la curvatura de Monterrey, en la Sierra Madre Oriental. La secuencia expuesta en estas áreas, esta constituida por areniscas, areniscas conglomeráticas, limolitas y lutitas, las cuales corresponden a facies fluviales. En la misma región ocurren varios afloramientos de rocas pre-Triásicas, principalmente rocas metamórficas de edad Precámbrica y Paleozoica, las cuales directamente subyacen de forma discordante a la cubierta marina Jurásica y Cretácica, sin encontrarse depósitos triásicos. Lo anterior sugiere una compleja distribución paleogeográfica de varias áreas levantadas a manera de pilares tectónicos durante el Mesozoico Temprano (área de Aramberri–Miquihuana; parte este del Anticlinorio huizachal–Peregrina), separados por elongados valles o estructuras tipo graben, los cuales actuaron como depocéntricos, en los que se depositaron los sedimentos.

2.2.1 Afloramientos de la región de Galeana–Pablillo, Nuevo León. En el área de Galeana la secuencia continental triásica se encuentra expuesta en las orillas de San Marcos, al sur de Galeana, a lo largo de la carretera Federal No. 58 (San Roberto–Linares); así como en las orillas de Santa Clara a 2 km al oeste de la carretera estatal No. 2. Esta unidad consiste de areniscas, limolitas, areniscas conglomeráticas y conglomerados, los cuales están sobreyacidos de forma discordante por productos volcanoclásticos pertenecientes a la Formación Nazas. Estos a su vez se encuentran sobreyacidos por los yesos Minas Viejas (Figura 5).

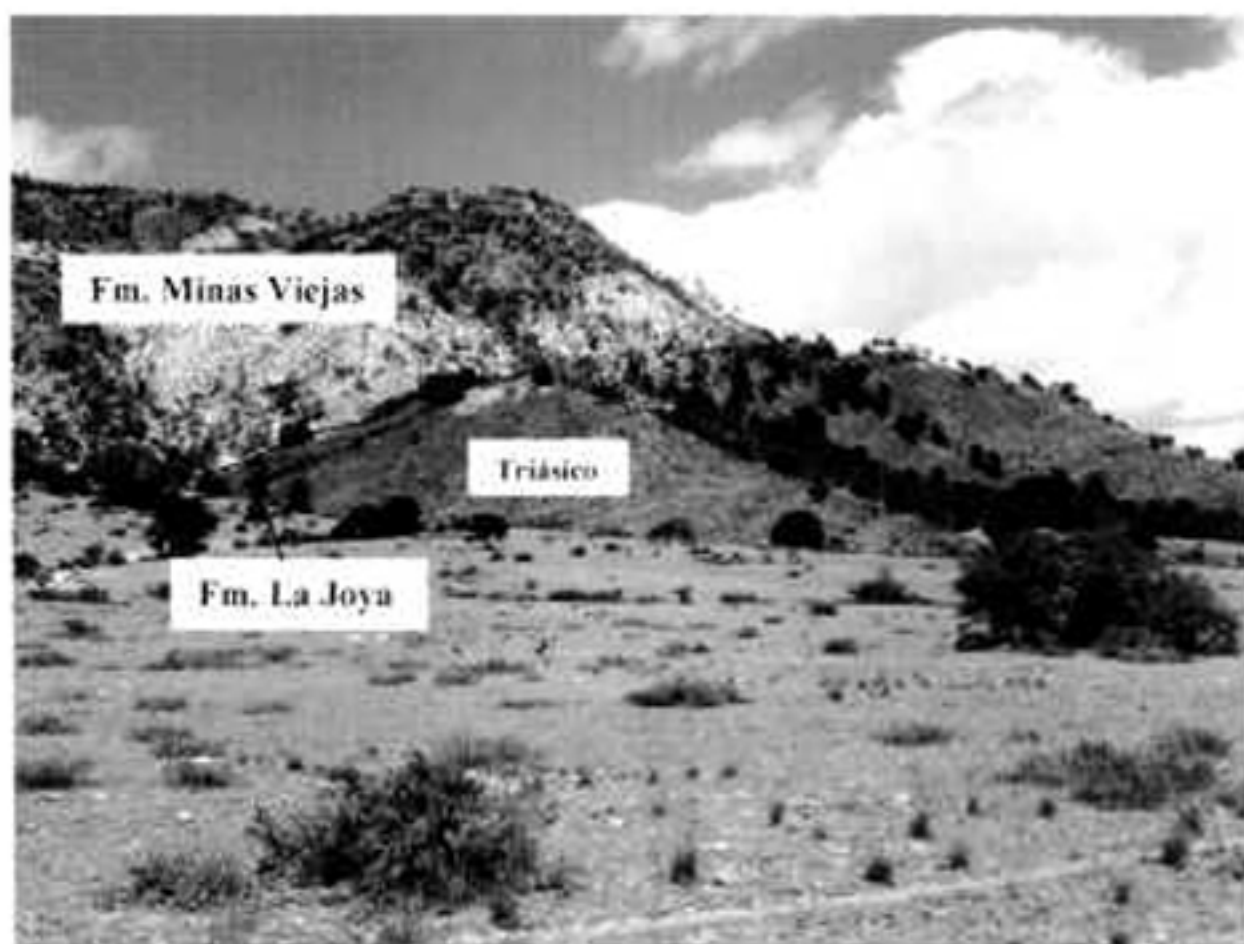


Figura 5. Vista panorámica del Cerro La Nieve, en el área de San Marcos, Nuevo León.

En el área del Cañón El Alamar la secuencia Triásica, se encuentra expuesta al sur del río Pablillo (Figura 6). En esta región, Mixón (1963) describió a la secuencia en tres miembros, del más antiguo al más joven (A, B y C). El miembro A está constituido por más de 220 m, de capas gruesas de areniscas de color rojo a rosa, de grano grueso a medio, las cuales hacia la base llegan a ser areniscas conglomeráticas. El miembro B consiste de 300 a 350 m de areniscas y conglomerados de color rojo, con alternancia de lutitas y limolitas de color gris a verde. En estas capas se encuentran troncos silicificados de más de tres metros de longitud. El miembro C consta de aproximadamente 120 m de capas areniscas de color rojo intercaladas con algunos conglomerados.

Esta secuencia es la más antigua expuesta en la región y se encuentra subyaciendo de manera discordante a los depósitos clásticos de la Formación La Joya. La edad asignada a esta secuencia es del Triásico Superior (Mixón, 1963) basado en flora recolectada en el Cañón del Novillo.

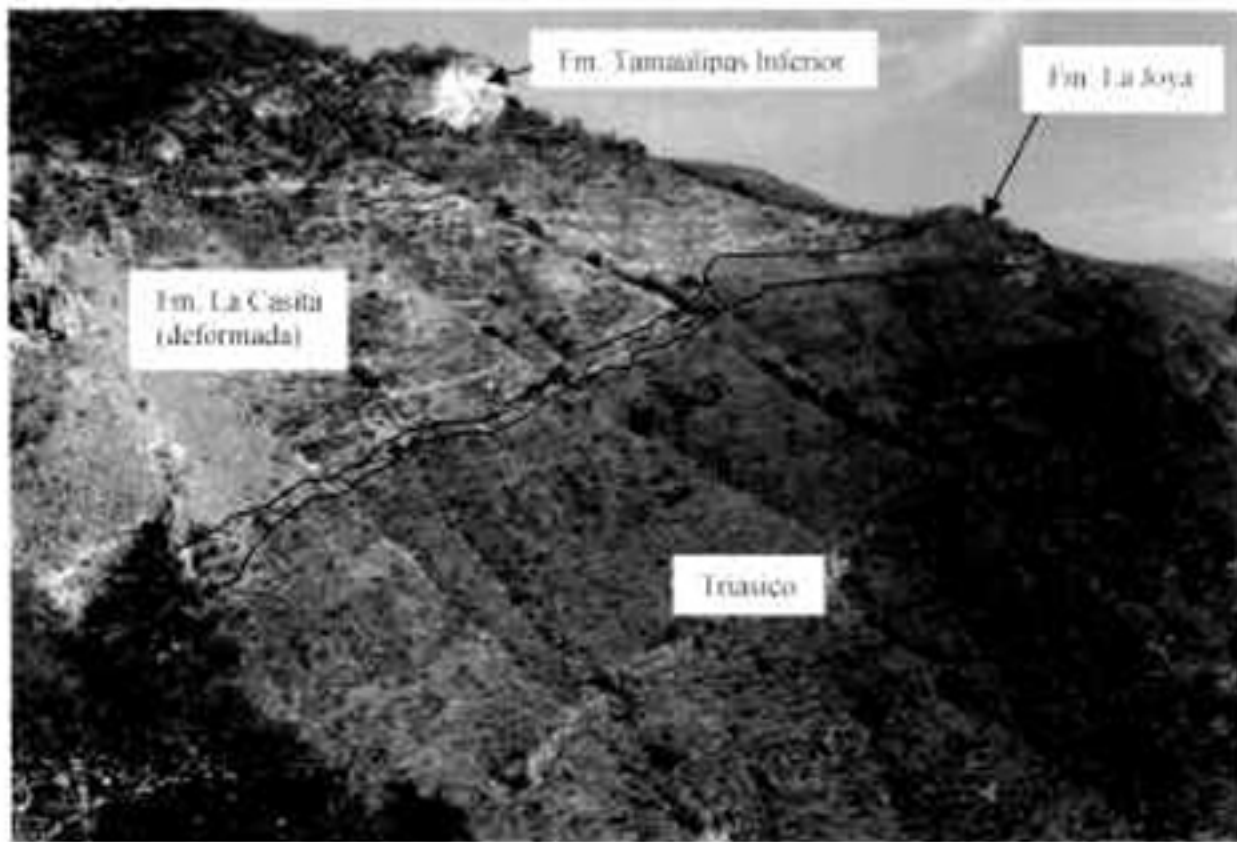


Figura 6. Secuencia de capas rojas expuesta en el Cañón El Alamar (parte inferior), la cual subyace a la secuencia clástica a carbonatada del Jurásico Superior-Cretácico.

2.2.2 Afloramientos del Anticlinorio Huizachal-Peregrina. Las capas rojas que afloran en el Valle de Huizachal están constituidas por una secuencia principalmente volcanoclástica, la cual está formada por flujos de lava de composición básica a intermedia intercalados con materiales piroclásticos, así como con domos riolíticos y depósitos de flujos de ceniza de composición riolítica a riodacítica. Dentro de los productos volcánicos félsicos, se encuentran intercaladas limolitas, areniscas conglomeráticas y conglomerados. Esta secuencia ha sido correlacionada con la Formación Nazas (Jones et al. 1995) y con la Aloformación Huizachal de Rueda-Gaxiola et al. 1991 (Montellano-Ballesteros et al. 1995). La unidad se encuentra descansando de manera discordante sobre sedimentos turbidíticos Pérmicos, esquistos Paleozoicos y rocas metamórficas Greenvilianas. Subyace en discordancia angular a la Formación La Boca, la cual está constituida por areniscas, limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas conglomeráticas y conglomerados, de color café rojizo y gris a verde. En ocasiones directamente sobre dicha unidad se encuentra la Formación La Joya de edad Calloviano-Oxfordiano.

En el Anticlinorio Huizachal-Peregrina las rocas más antiguas expuestas corresponden a rocas metamórficas Greenvilianas, sobreyacidas por sedimentos paleozoicos. Existen también esquistos y rocas magmáticas del Paleozoico Superior, sobre los cuales descansa

en forma discordante una unidad constituida por areniscas de grano grueso a medio, limolitas y lutitas con alternancia de capas de arenisca conglomerática y conglomerados de color café rojizo y gris a verde claro. Dentro de las capas conglomeráticas se ha encontrado madera fósil silicificada. La secuencia subyace a capas rojas de edad Jurásico Inferior a Medio de la Formación La Boca o a la Formación La Joya. La edad para esta secuencia ha sido determinada como del Triásico Tardío, en base a flora fósil recolectada en el Cañón del Novillo (Mixón, 1963; Weber, 1997). Esta unidad puede ser bien apreciada en los cañones de La Boca, Peregrina y en la parte oeste del cañón del Novillo.

En el área de Arramberri-Miquihuana se encuentra aflorando una secuencia de rocas volcanogénicas, la cual está constituida por ignimbritas de composición riolítica a riodacítica y tobas de grano fino, de color rojo a café. Meiburg et al. (1987) describió las rocas volcánicas que afloran en el área de Arramberri como serie "pre-Huizachal", la cual está constituida por ignimbritas riolíticas, brechas volcánicas y tobas, asignándoles una edad Pérmico – Triásico. Jones et al. (1995) sugirieron que estas rocas corresponden a la Formación Nazas, dadas sus semejanzas litológicas. Esta unidad de rocas volcánicas se encuentra descansando sobre esquistos del Paleozoico y es sobreyacida de manera discordante por la Formación La Joya o por sedimentos calcáreos de la transgresión marina del Oxfordiano – Kimmeridgiano.

3. CARACTERIZACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS.

3.1 EL ABANICO SUBMARINO DE EDAD TRIASICA DE LOS ESTADOS DE SAN LUIS POTOSI Y ZACATECAS.

LITOFACIES DE UN ABANICO SUBMARINO.

El depósito de abanicos subacuáticos ocurre en una amplia variedad de marcos, desde el mar profundo hasta lagos de agua dulce, por lo que su depósito comprende una serie de procesos de flujos de masas. Estos depósitos pueden ser clasificados en siete amplias litofacies, tomando como base el tamaño de grano, la fábrica y espesor de las capas, así como las estructuras sedimentarias asociadas. Los ambientes representados pueden ser reconstruidos por la asociación de litofacies particulares y el carácter lateral y vertical de los ciclos de estratificación.

Mutti y Ricci Lucchi (1972), Walker y Mutti (1973), y Ricci Lucchi (1975 a, b) clasifican a los sedimentos de abanicos en siete litofacies (A hasta G) que incluyen la mayoría de las litologías de un abanico. Las cuales se sintetizan en la tabla siguiente:

FACIES	LITOLOGÍA	ESTRUCTURAS	AMBIENTE DE DEPÓSITO	MECANISMOS DE DEPÓSITO
A	Conglomerados y areniscas de grano grueso	Unidades masivas y estratificadas; gradación normal o inversa	En los taludes y canales. En las partes distales del abanico	Procesos de flujo de corrientes
B	Areniscas de grano grueso a medio	Masiva, frecuentemente en capas; laminación paralela; estructuras corticales; marcas de elevación	Sistema de canales, particularmente pero no necesariamente en el abanico inferior y medio	Procesos turbulencia de flujo de grano grueso. Corrientes de tracción o de flujo C, sugiere con entes. Posiblemente flujos
C	Areniscas de grano grueso a fino, alternadas con capas delgadas de lutita	Gradación normal, marcas de base ("sole mark")	Parte superior de las secuencias de relleno de canal en los márgenes del abanico medio, externo o proximal de la cuenca	Corrientes turbulencia
D	Alternancia de capas delgadas de capas de areniscas y lutita; las areniscas son arenosas, testáceas a grandes distancias	Marcas de base ("sole mark")	Pueden ocurrir en todas las partes del abanico submarino y en la planicie de la cuenca	Procesos de flujo turbulencia de flujo turbulencia
E	Alternancia de capas delgadas de capas de areniscas y lutita	Estratificación interna, estratificación fluvial, arenas masivas, arenas gradadas, (estructura tipo "barrel")	Sistema de canales en un abanico submarino	Procesos de flujo de tracción y alta concentración de gravedad, asociados a los márgenes de canales
F	Depósitos removilizados, lutita con guijeros	Suave, muestran características de flujo y deformación	Talud inferior, márgenes de canal en el abanico inferior y medio	Procesos de deformación y desdoblamiento de sedimentos en sustrato
G	Escombros pelágicos y hemipelágicos	Estratificación delgada y paralela	Talud e intercanales. Se les puede encontrar en todas las partes del abanico submarino	

Tabla 1. Características principales de las litofacies de un abanico submarino.

Un abanico submarino puede ser subdividido fisiográficamente sin tomar en cuenta su tamaño, en abanico interior, medio, y exterior, con una planicie de cuenca bordeando el abanico y un talud con canales alimentadores o cañones submarinos de línea de costa y confinando la cúspide del abanico (Figura 7).

Abanico interior. Es reconocido por la presencia de las litofacies A, B y F, dominando la litofacies A. Las paredes de los valles del abanico interior son tan profundas que todo el material de flujo de masa es limitado hacia los confines de los valles, y las áreas de intercanales y levee lateralmente más extensas son típicas de material fino de la facies G. Los ciclos de estratificación son raros y cantidades subordinadas de la facies E corresponden a depósitos de bancos de un canal de inter valle. El "thalweg" del canal principal del abanico interior pueden estar en línea recta, trezado o sinuoso, cada modelo de canal resulta probablemente de las ligeras diferencias en los patrones sedimentológicos.

Abanico medio. Es representado por cuerpos de areniscas de las facies A, B y menos comúnmente de la facies C, dado que los canales no son tan profundos como en el abanico interior, se pueden encontrar depósitos de las facies E y D. El cambio lateral de los canales distributarios da como resultado secuencias más delgadas y más finas hacia arriba ("*thinning y fining upward*"), el desarrollo incompleto de estos ciclos en las facies E, D y G representan las áreas marginales de abanico medio.

Abanico exterior. Son características las litofacies C y D, siendo reconocido este ambiente por lóbulos de construcción en un proceso progradacional, resultando una secuencia de grano más grueso y de mayor espesor ("*coarsening y thickening*"). En la cima de las capas de este ciclo puede estar presente la litofacies B y ocasionalmente la litofacies A pasando hacia capas con características de abanico medio. El limitado desarrollo de la secuencia thickening en las litofacies C, D y G es típico de los márgenes de un abanico exterior.

Planicie de la cuenca. Está representada por lutitas pelágicas y hemipelágicas (facies G) con capas de espesor uniforme lateralmente extensas de la facies D y algunas turbiditas de

la facies C. Estas turbiditas no muestran ciclos verticales en el espesor de las capas o variaciones en el tamaño de grano.

Talud, canales alimentadores y cañones submarinos. Los depósitos de talud son principalmente lutitas (facies G) con raro o extenso espaciado de capas de areniscas interestratificadas y espaciadas. Debido al gradiente y posiblemente como resultado de la fluctuación por presión, existe una inestabilidad de los sedimentos. Donde el talud es cortado por un canal de alimentación, un lente de arenisca (facies B, C y D) esta presente en el lodo.

En las áreas de cañones submarinos, son comunes las litofacies A y F, pero cuerpos canalizados de facies B, C, D y E pueden ocurrir también. El repentino abandono podría resultar en una facies G de relleno.

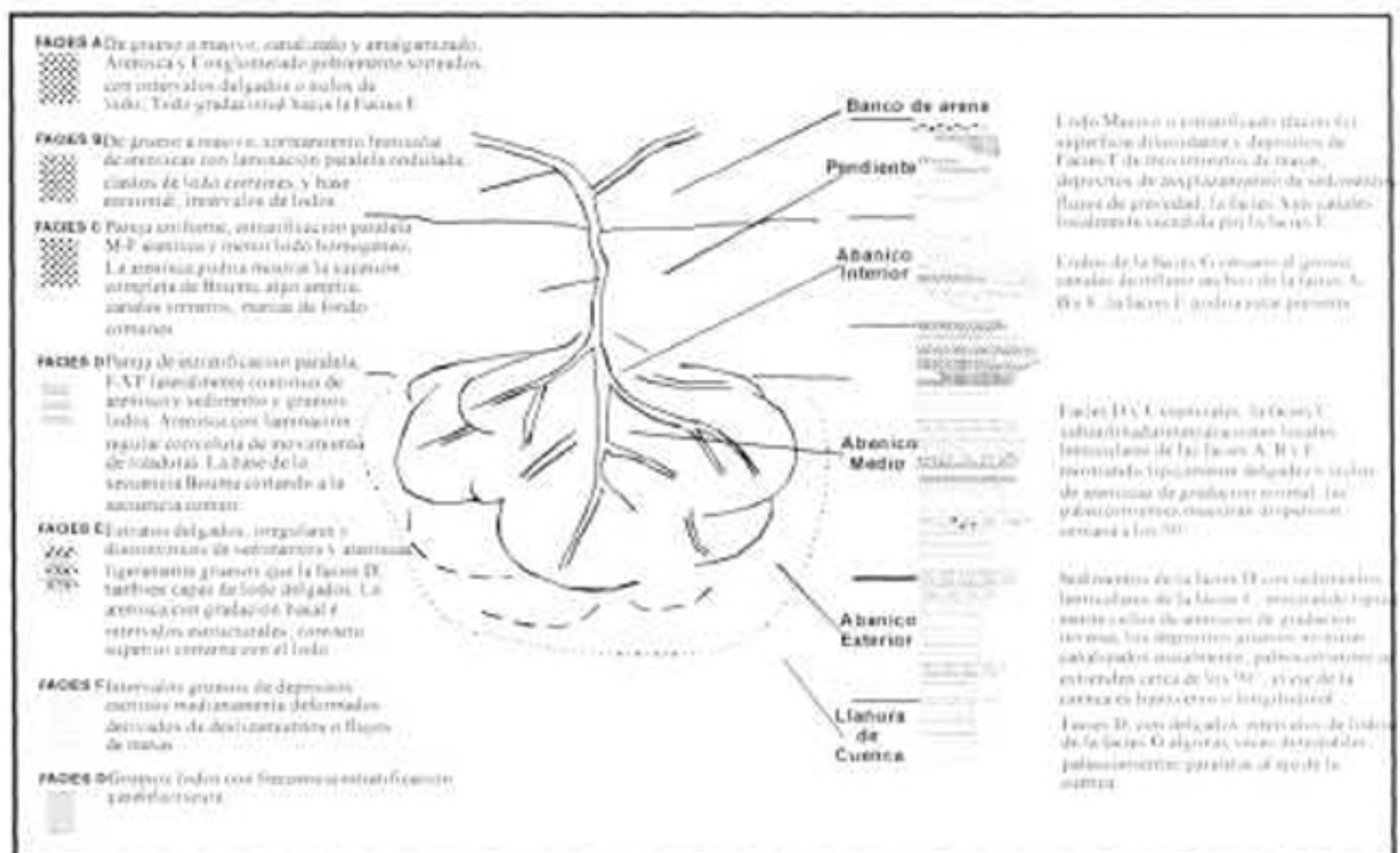


Figura 7. Geometría y nomenclatura de un abanico submarino, así como la asociación de facies, de acuerdo a Mutti y Ricci Lucchi, 1972 (Según Shanmugam y Muiola, 1985: ilustración tomada de Prothero and Schwab, 2004).

Los afloramientos de edad Triásica expuestos al oeste de San Luis Potosí, son una secuencia turbidítica, constituida por areniscas conglomeráticas y grauwas, alternando con limolitas y lutitas, en las cuales se puede observar frecuentemente una parte y en algunos casos, la secuencia "Bouma" completa. Para este estudio se describieron las secuencias que afloran en la Sierra de Salinas, en la Sierra de Charcas y en el área del "Cañón General", al noroeste de la Sierra de Catorce.

En la Sierra de Salinas, se midió una sección a 1.7 km al norte del pueblo de La Ballena, (las coordenadas en la base de la sección son: 2487285/221950 (Figura 8). En esta sección la secuencia consiste de una alternancia de areniscas, limolitas y lutitas, entre las cuales se intercalan areniscas conglomeráticas y cuarcitas. Estos depósitos son de color gris oscuro en superficie fresca y color café a amarillo grisáceo en superficie intemperizada. Las litofacies han sido interpretadas como facies de abanico medio a distal, mostrando bien desarrolladas las litofacies "C" y "B" del modelo propuesto por Mutti and Ricci-Lucchi, (1972). Estas facies corresponden a márgenes de canal y lóbulos de abanico superior. Ocasionalmente también presenta la litofacies "A" correspondiente a ambientes de canal (Figura 10).

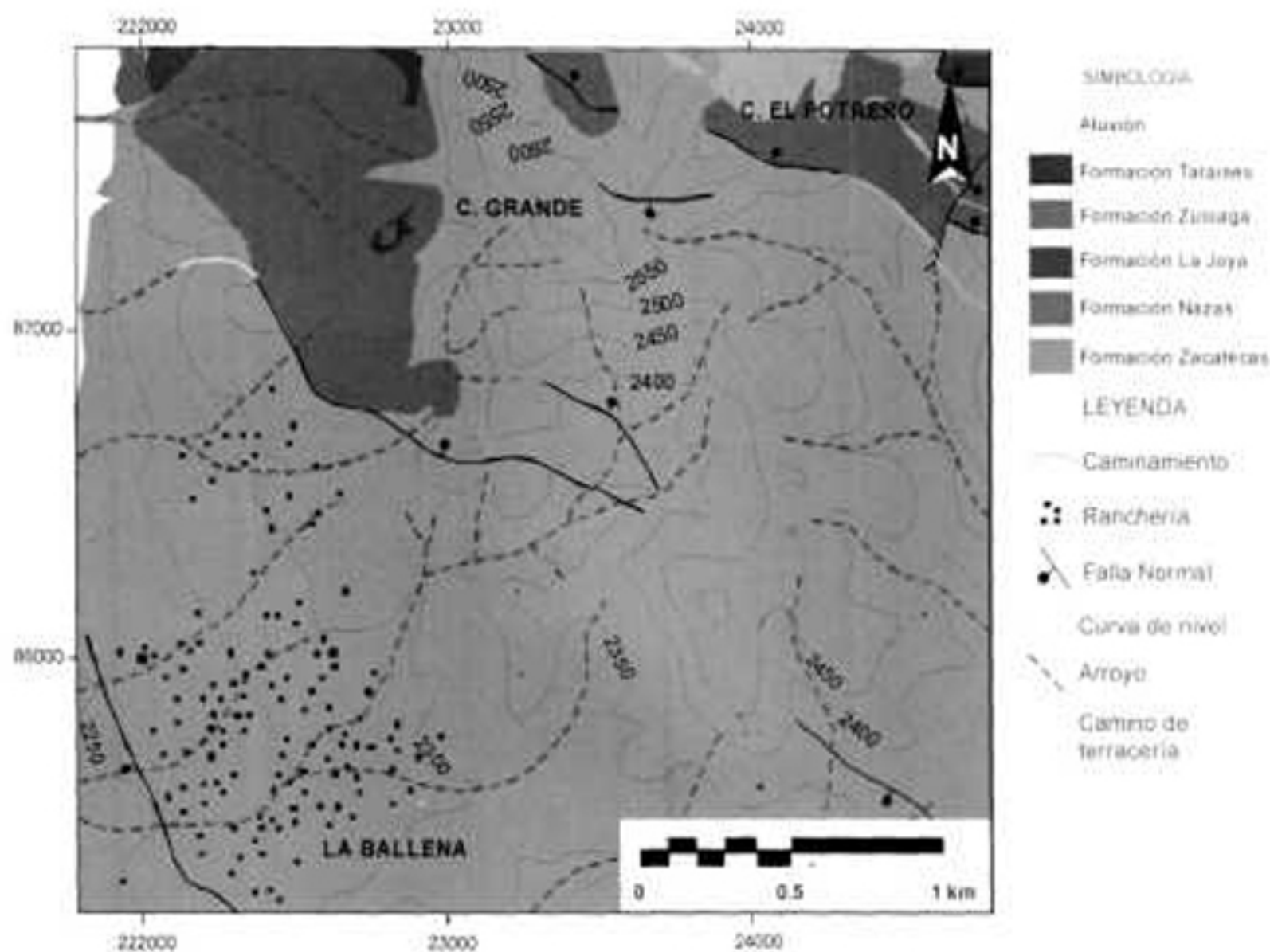


Figura 8. Plano geológico del área de La Ballena y localización del perfil medido.

En el área de La Trinidad-San Rafael, en la Sierra de Charcas, Hoppe (2000) midió una sección de 200 m de espesor, interpretando para esta secuencia un ambiente de depósito de abanico submarino. En esta misma área, se midió una sección sobre el lecho del arroyo que pasa por el poblado de San Rafael hacia el sur del mismo pueblo (las coordenadas de la base de la sección son: 274226/ 2553388), (Figura 9). La secuencia está constituida por una alternancia rítmica de capas de arenisca de color gris oscuro, que intertemperizan en tonalidades café-rojizo a amarillento, intercaladas con lutitas de color negro. En las capas de arenisca se observa estratificación gradada interna, laminación, marcas de erosión y pliegues sin-sedimentarios. Las litofacies de Mutti and Ricci-Lucchi, (1972) identificadas para esta sección, en orden de su consistencia son: facies "A" correspondiente a ambientes de canal, seguida por la facies "B" y "C", las cuales representan márgenes de canal; ocasionalmente se pueden observar las facies "D", "E" y "G", correspondientes a abanico

superior, lóbulos. "levee" y planicies de inter canal, características de la zona de abanico medio (Figura 10).

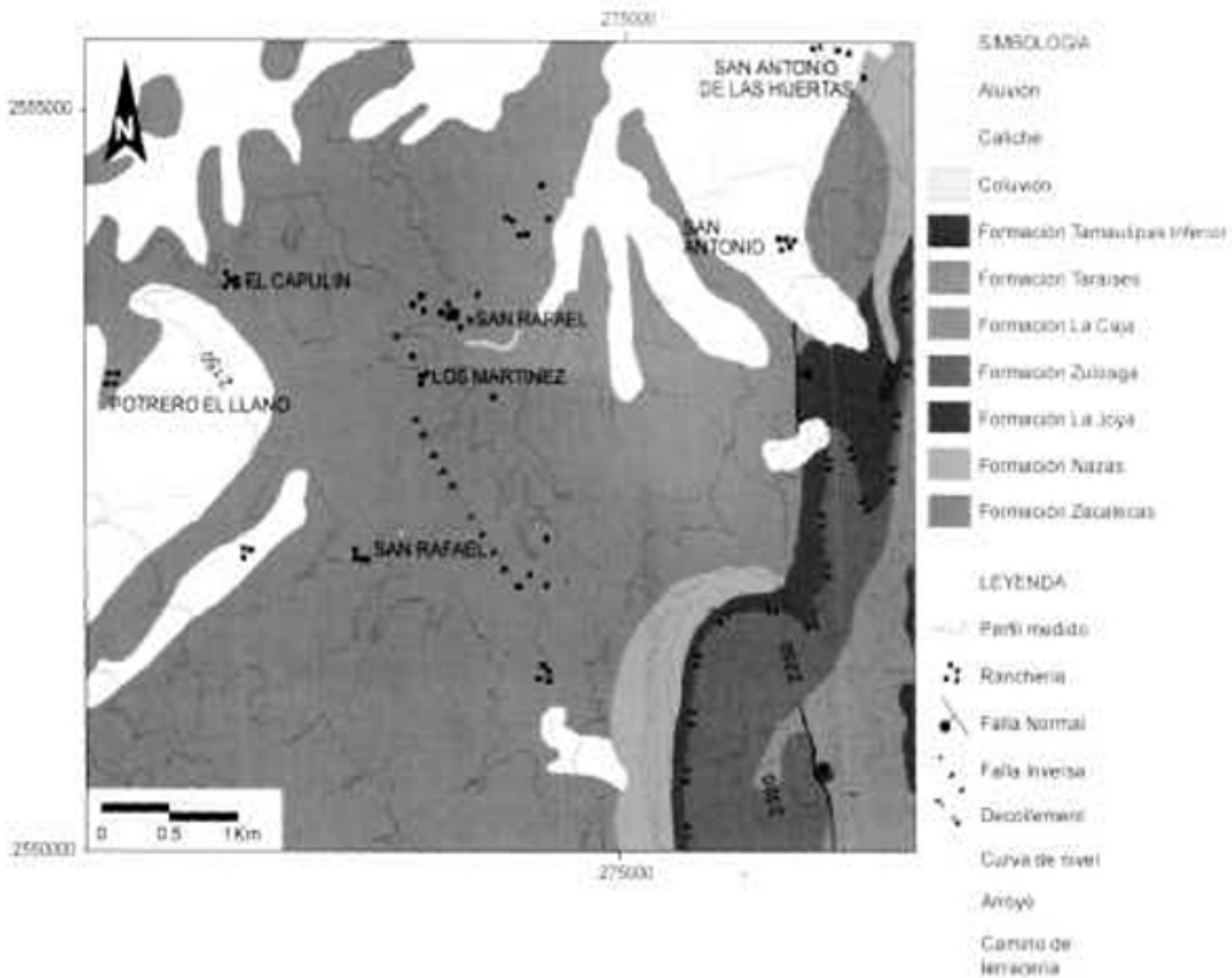


Figura 9. Plano geológico del área de Charcas y localización del perfil medido.

La secuencia Triásica que aflora en la Sierra de Catorce, esta constituida por lutitas de laminación fina e intercalaciones de limolitas delgadas y capas de arenisca. Los mejores afloramientos se encuentran en el "Cañón General" y en el "Cañón de Ojo de Agua". Esta secuencia es correlacionable con la secuencia que aflora en el área de Charcas, con la diferencia de que en estas capas predominan las litofacies "D", "E" y "G" de Mutti y Ricci-Lucchi (1972), correspondientes a depósitos de canal. Con menos frecuencia también se observan las litofacies "B" y "A".

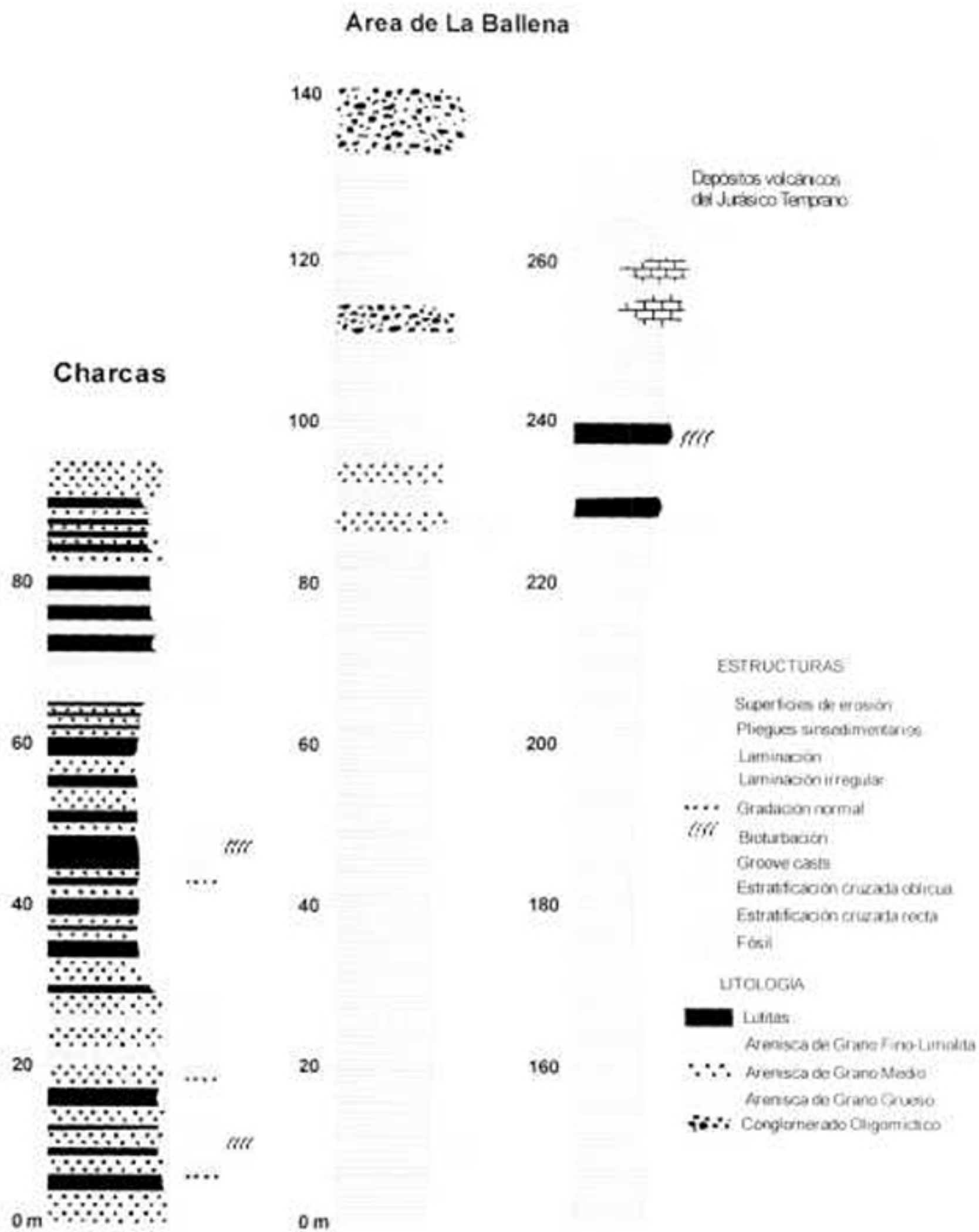


Figura 10. Perfiles litológico y sedimentológico, medidos en las áreas de Charcas y La Ballena.

3.2 LAS FACIES FLUVIALES DEL TRIASICO TARDIO DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS.

LITOFACIES FLUVIALES.

Los sedimentos fluviales se han clasificado en cinco litofacies principales, tomando como base el código de Miall (1977, 1978). Estas litofacies se presentan de forma sintetizada en la siguiente tabla.

FACIES	LITOLOGIA	ESTRUCTURAS	AMBIENTE DE DEPOSITO
Gm, Gt	Conglomerado	Estratificación sub-horizontal, estructuras de imbricación y de erosión	Sistema de canales de alta energía
St, Sp, Sh	Areniscas de grano grueso a medio	Capas gruesas a masivas, estratificación cruzada, estratificación planar-cruzada	Barreras de canal
Sl, Sh	Areniscas de grano fino a medio	Capas medianas, estratificación planar-cruzada	Rellenos de canal
Fl, Fm	Limolitas con ocasionales capas de arenisca de grano fino	Capas delgadas a laminadas, huellas de bioturbación	Planicies de inundación, cuencas poco profundas abandonadas
Fm, P	Lutitas con presencia de concreciones de carbonato	Laminación, huellas de bioturbación	Planicies de inundación

Tabla 2. Características generales de las litofacies fluviales.

La secuencia correspondiente al Triásico Tardío, expuesta en los Estados de Nuevo León y Tamaulipas, está constituida por areniscas, areniscas conglomeráticas, limolitas y lutitas, las cuales corresponden a facies fluviales. Para este trabajo se visitaron los afloramientos localizados en el área de San Marcos, al sur de Galeana y en el Cañón El Alamar en la Sierra de Pablillo, al sur del río Pablillo.

En el área de San Marcos se midieron dos perfiles cuyas coordenadas son: del primero medido en el Cerro Colorado, teniendo como ubicación hacia la base de la sección 389 847/2733479; y del segundo medido en el Cerro La Nieve, iniciando la sección en la cima, 388370/2732180 (Figura 11). En ambas secciones la secuencia está constituida por una alternancia de capas gruesas a bancos de arenisca, de grano medio a grueso, de color gris a verde olivo y color café rojizo en superficie intemperizada, las cuales alternan con capas de arenisca de grano fino, que pasan gradualmente a horizontes de limolitas y ocasionalmente a lutitas. En ocasiones ocurren lentes conglomeráticos hacia la base de las areniscas. En las capas de arenisca se puede observar estratificación gradada interna y estratificación cruzada. Ocurren dentro de la secuencia ocasionales horizontes de rocas sub-volcánicas tipo sills, ya que se encuentran de forma tabular, paralelos a la estratificación (Figura 12).

En esta área es común encontrar dentro de las facies de limolitas y lutitas estructuras de bioturbación. Estas facies representan depósitos de planicies de inundación o depósitos de lodo en cuencas planas abandonadas. Las estructuras se encuentran en la parte superior de la secuencia expuesta en el Cerro La Nieve, y ocurren en posición perpendicular a la estratificación en forma cilíndrica de 30 a 40 cm de largo y de 5 a 15 cm de diámetro, estas se encuentran rellenas por material limoso a lodoso, de color gris verdoso a amarillento (Figura 13). Michlitz (1991), interpretó estas estructuras como "*lungfish burrows*". También se encuentran dentro de los sedimentos de grano fino horizontes de caliche con nódulos calcáreos y de pedernal, de color gris verdoso, el cual contrasta con el color de las limolitas y lutitas.

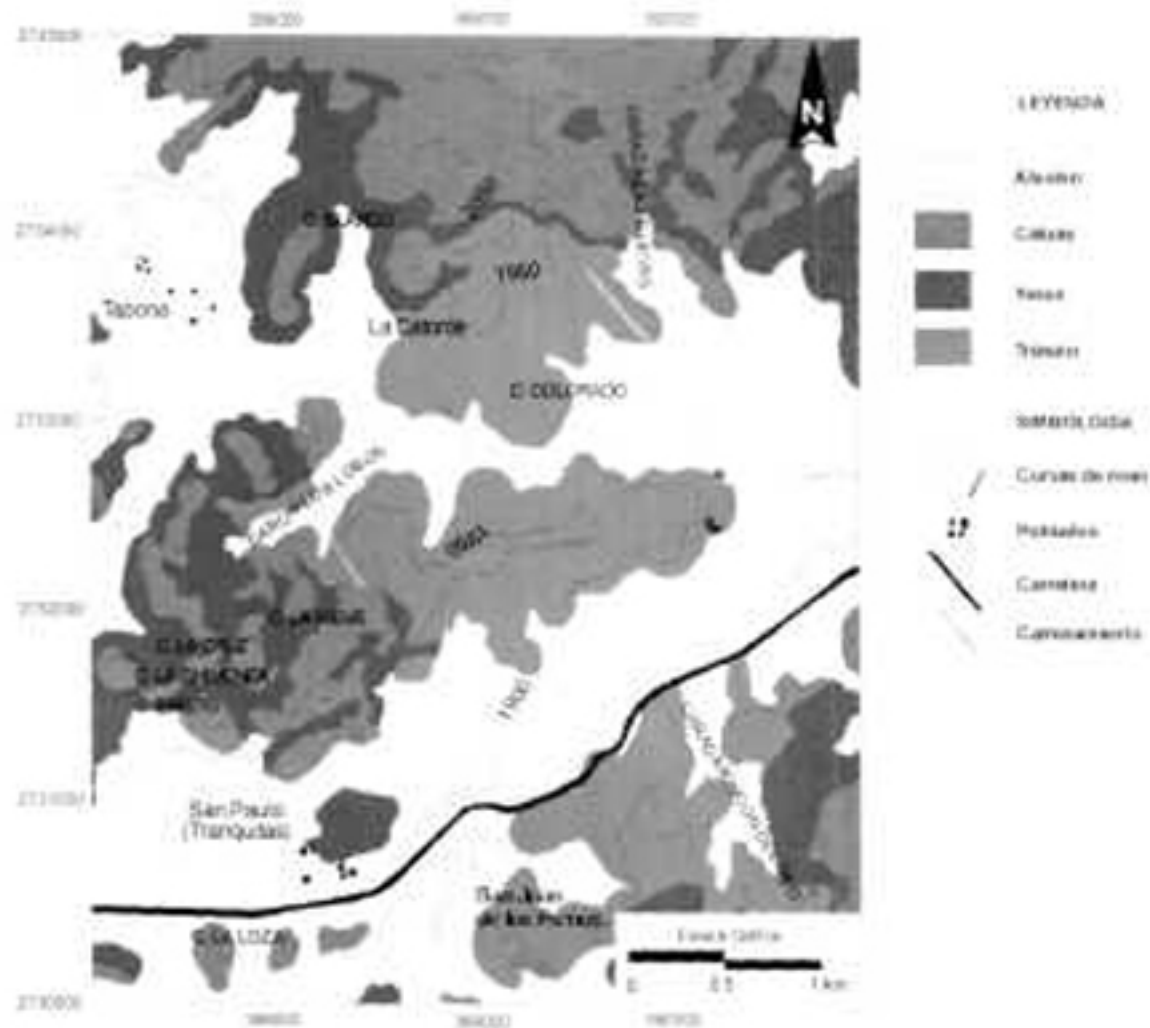


Figura 11. Plano geológico del área de San Marcos y localización del perfil medido.

Se midió una sección en el Cañón El Alamar y las coordenadas de la base de la sección son: 406919N/2715424E. (Figura 14). Cabe aclarar que esta no es la parte más baja de la secuencia expuesta, se empezó a medir en este punto debido a lo inaccesible del terreno (cantil de más de 20 m de alto). La secuencia expuesta consiste de capas gruesas de areniscas de grano grueso a medio, de color gris a verde claro o color café rojizo. Varios de los depósitos de arenisca tienen en la base un horizonte de areniscas conglomeráticas a areniscas gruesas, pasando hacia arriba a areniscas de grano más fino, las cuales pasan gradualmente hacia láminas finas de limolitas y ocasionalmente se observan lutitas (Figura

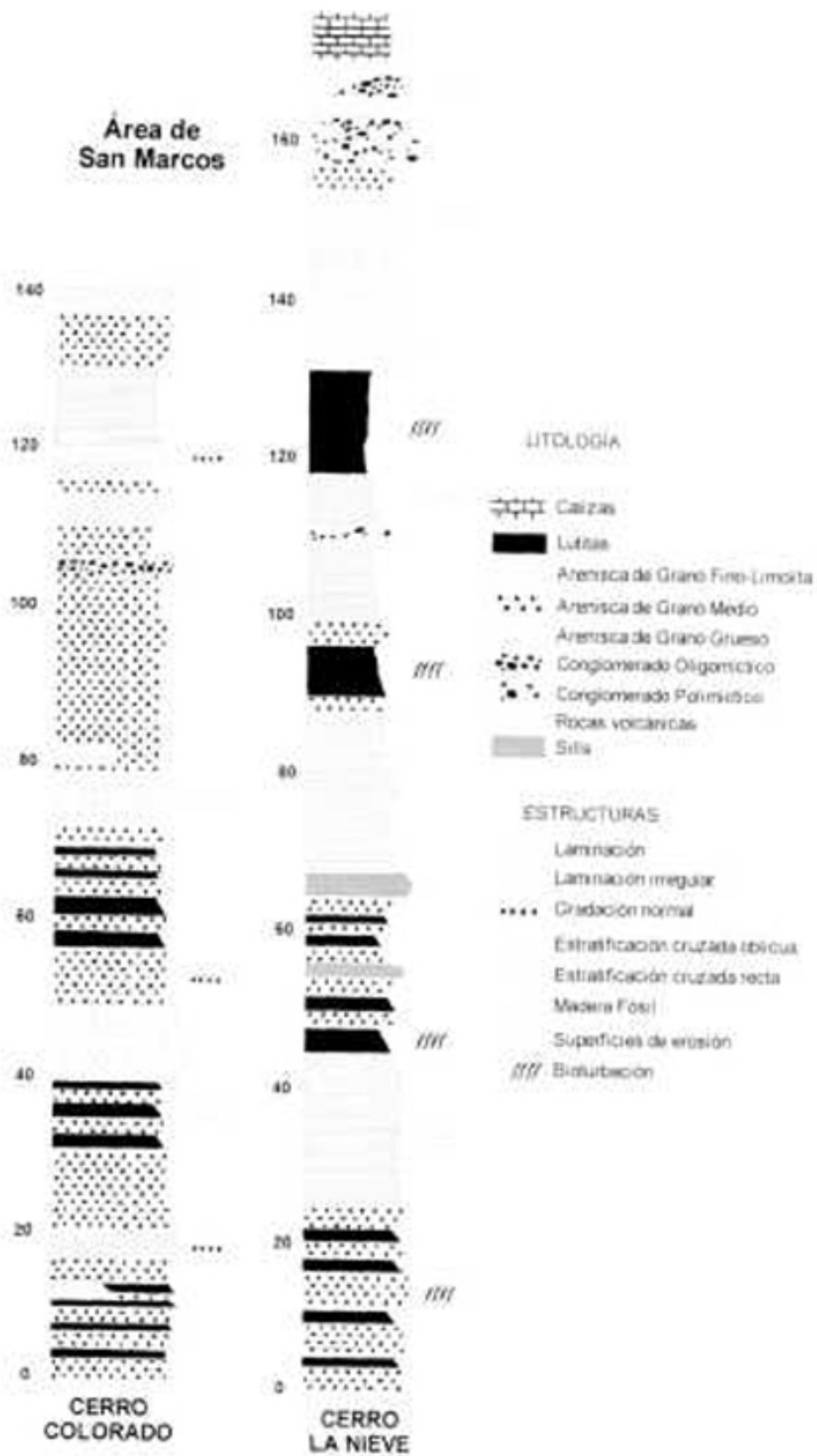


Figura 12. Perfil litológico y Sedimentológico, medido en el Área de San Marcos.

15). Es importante aclarar la presencia de madera petrificada en forma de fragmentos largos (arriba de 10 m de largo), que se encuentran en las capas conglomeráticas y en las capas de areniscas gruesas, las cuales representan depósitos y barras de canal (Figura 16). Estos troncos han sido identificados como *Araucarioxylon* sp. por R. A. Scott (*in* Carrillo-Bravo, 1961). La secuencia representa varios ciclos "*fining upward*", los cuales se han interpretado como depósitos de canal que cambian hacia depósitos de planicies arenosas y ocasionalmente hacia depósitos de planicies fluviales en un sistema de río anastomado.

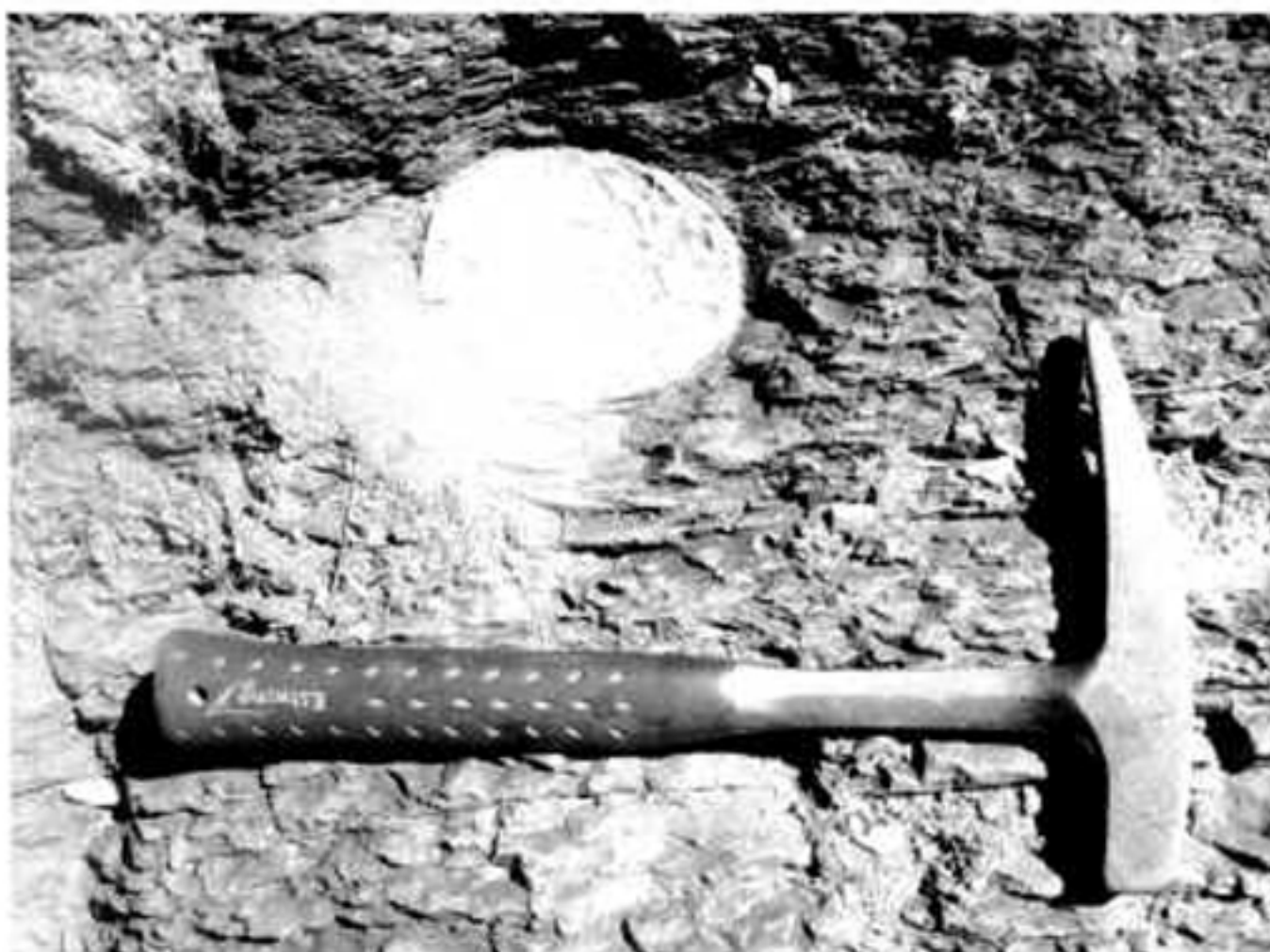


Figura 13. Estructuras cilíndricas perpendiculares a la estratificación, producto de bioturbación, dentro de las capas de limolita y lutita.

Michalzik (1991) interpretó este depósito cíclico como una sedimentación fluvial tipo "*Donjek*" y reconoció varias litofacies de Miall (1977). Las litofacies son: Facies conglomerática (Gm y Gt); la cual está representada por capas cruzadas, planares y cóncavas, así como por capas horizontales de areniscas gruesas (St, Sp, Sh); capas horizontales y capas planares y cruzadas de arenisca (Sh, Sl). Facies de limolitas masivas y laminadas (Fl, Fm). Facies de lutitas a limolitas con concreciones de carbonato (Fm, P).

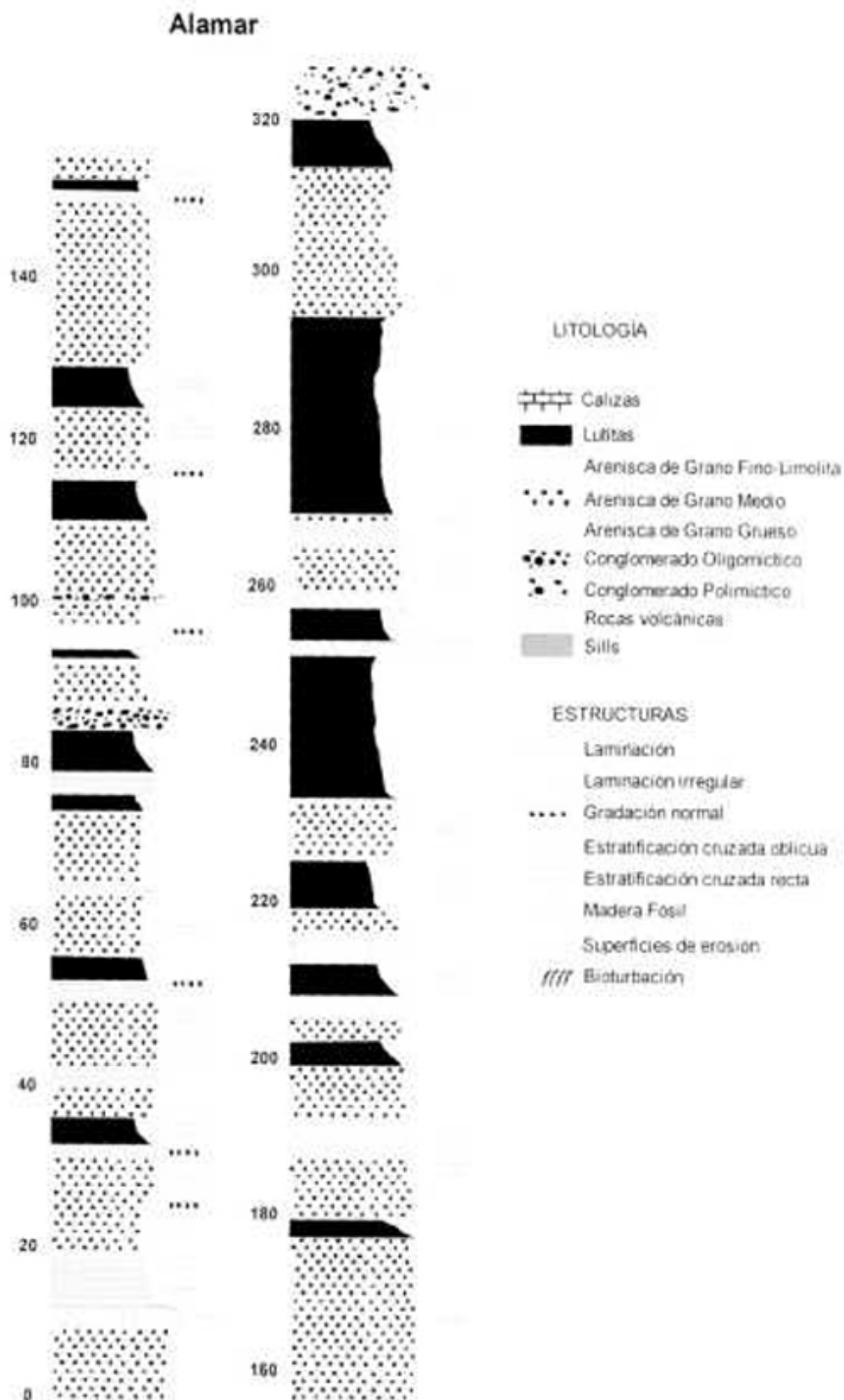


Figura 15. Perfil litológico y sedimentológico, medido en el Cañón El Alamar.



Figura 16. Madera petrificada entre las capas de areniscas, dentro de la secuencia expuesta en el Cañón El Alamar.

4. PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS CLÁSTICOS.

4.1 PETROGRAFÍA

Las rocas sedimentarias son una de las principales fuentes de información acerca de las condiciones geológicas a las que estuvo sujeta la superficie de la tierra en el pasado, así como una invaluable herramienta en las reconstrucciones paleogeográficas, ya que están formadas por fragmentos de diversas composiciones, los cuales fueron erosionados y transportados hasta llegar a consolidarse y formar dicha roca sedimentaria. Dichos fragmentos pueden proporcionar información acerca de la composición y naturaleza de las rocas fuente de las que fueron erosionados.

La composición de las rocas sedimentarias depende principalmente de cuatro factores: la fuente de origen del sedimento, el transporte, el ambiente de depósito y la diagénesis. La procedencia (*Provenance*) es el factor más difícil de interpretar, ya que está relacionado directamente con la fuente de origen del sedimento, por lo que lo enmascaran los demás factores. En las últimas décadas el estudio de la procedencia de los sedimentos ha alcanzado un gran desarrollo, gracias a la evolución de la teoría de la tectónica de placas y al análisis petrográfico detallado, así como al análisis integral de cuencas sedimentarias. Ambos tipos de estudio han aportado las bases para relacionar la composición de las areniscas al marco tectónico de las cuencas de depósito y al de las áreas de procedencia (Dickinson and Zueckel, 1979). Más recientemente, a los estudios de procedencia basados en métodos petrográficos se han agregado los estudios geoquímicos y geocronológicos.

Las arenas son los sedimentos más usados para la determinación de la roca fuente de la que fueron erosionados los sedimentos, ya que se originan como partículas sólidas lo suficientemente pequeñas para observar una muestra considerable de granos en una lámina delgada, además de que conservan la composición y textura original de la roca que derivan. Las areniscas inmaduras a medianamente maduras, de tamaño de grano medio, con poco porcentaje de matriz y poco reemplazamiento o alteración post-depósito, son ideales para el análisis de procedencia, ya que el grado de madurez puede limitar la interpretación de la composición total de la roca. Dado que los fragmentos menos resistentes se desintegran

antes del depósito o se transforman, incrementando el porcentaje de los granos más resistentes y los sedimentos con alto grado de matriz no permiten una buena determinación de la naturaleza de la roca fuente, ya que contienen pocos granos lo suficientemente grandes para identificar su composición mediante la petrografía (Centeno-García y Sánchez-Zavala, www.geología.unam.mx/academia/Temas/Procedencia/procedencia.html, 2004).

Dado que la composición de las areniscas depositadas en los diferentes tipos de cuencas, está en función del tipo de fuente de aporte de los sedimentos, Dickinson and Suczek, 1979 y Dickinson et al., 1983, han desarrollado diagramas modales para discriminación de ambientes tectónicos de procedencia, tomando como base la estrecha relación que existe entre la composición de las areniscas y el ambiente tectónico al que se asocian las cuencas de depósito. Sus diagramas han sido apoyados con estudios de areniscas recientes de marcos tectónicos conocidos, los cuales aportan los estándares para evaluar los efectos del marco tectónico en la composición de las areniscas. Demostrando así, que en general, las areniscas derivadas de zonas continentales y depositadas en márgenes pasivas, en zonas de rift intracontinental y en cuencas cratónicas, están compuestas de cuarzo y feldespato principalmente. Las areniscas depositadas en cuencas asociadas a cinturones de deformación, están enriquecidas en cuarzo y fragmentos líticos. Las areniscas derivadas de arcos volcánicos están constituidas principalmente por feldespatos, fragmentos líticos y en menor cantidad por cuarzo (Figura 17). La tabla 3 muestra una descripción más detallada de las características petrológicas de las areniscas, en relación al ambiente tectónico al que se asocian las cuencas de depósito y la naturaleza de la fuente de aporte (Dickinson, 1985).

El objetivo primordial de esta tesis es el de conocer la composición y la fuente de procedencia de los sedimentos que forman a la secuencia siliciclástica de edad Triásica que aflora en el centro y noreste de México. Para el estudio de estas rocas y para poder llegar a determinar su procedencia y su marco tectónico, las principales herramientas son la petrografía y la geoquímica. Con estos estudios de composición mineralógica y química podemos reconstruir la naturaleza geológica y el ambiente tectónico de la región fuente de los sedimentos. Además con las características texturales (tamaño y forma de los granos)

podemos obtener información importante acerca de las características de la cuenca donde se depositaron dichos sedimentos y de los procesos de transporte a los que estuvieron expuestos. Para esto se realizaron análisis petrográficos a 27 láminas delgadas de muestras colectadas en las áreas de estudio, utilizando el método de conteo de puntos, por medio de una platina graduada; realizándose únicamente la descripción textural de 17 de las mismas. La descripción de estas muestras se presenta en el anexo 1.

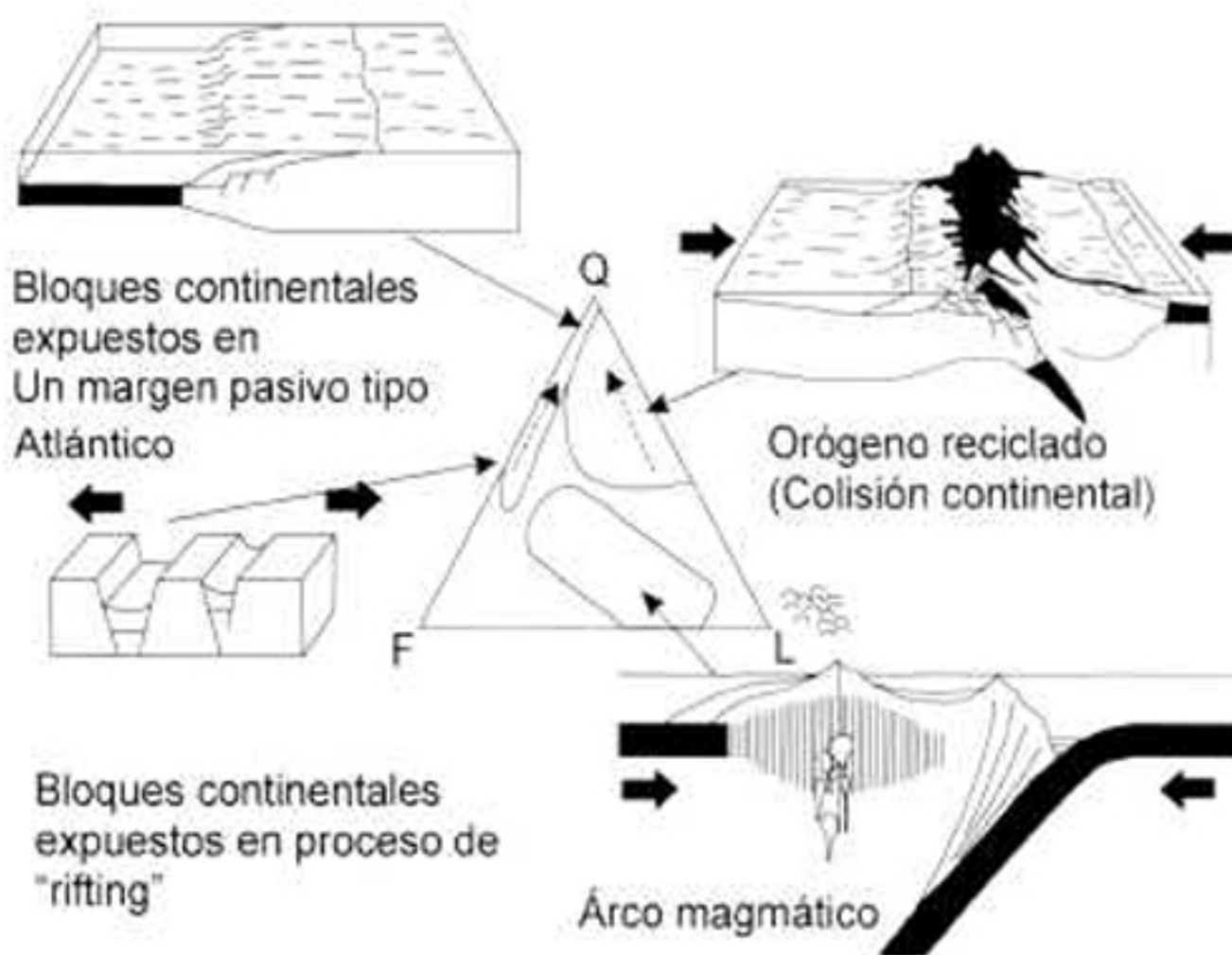


Figura 17. Contenido modal de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir del diagrama QFL de Dickinson (1986). Q = Cuarzo total; F =Feldespatos monocristalinos totales; L = Fragmentos líticos totales (L = Lv+Ls), donde Lv = Fragmentos líticos volcanogénicos y Ls = Fragmentos líticos sedimentarios y matesedimentarios excepto pedernal y metapedernal (Ficher y Poché, 1993). Las flechas discontinuas indican incremento de madurez. Tomado de Centeno-Garcia y Sánchez-Zavala (2004).

Tipo de procedencia	Ambiente tectónico	Composición de areniscas
Cratón estable	Plataforma y escudo estable o en el interior del continente	Areniscas cuarzosas (ricas en Qt con altas relaciones Qm/Qp y K/P)
Basamento levantado (basamento uplift)	Borde de Rift o ruptura transformante	Areniscas cuarzo feldespáticas (ricas en Qm y F) con bajas concentraciones de Lt
Arco magmático	Arco de isla o arco continental	Areniscas volcánoclasticas y feldespáticas (ricas en F) con altas relaciones de P/K y Lv/Ls
Orógeno reciclado	Complejos de subducción o cinturones de pliegues y cabalgaduras	Areniscas cuarzolíticas (ricas en Qt y Lt) con bajas concentraciones de F y Lv y relaciones variables de Qm/Qp y Qp/Ls

Tabla 3. Determinación de la procedencia y ambiente tectónico a partir de la composición QFL de las areniscas. Tomado de Dickinson (1985). Qt = cuarzo total, Qm = cuarzo monocristalino, Qp = cuarzo policristalino, F = feldespato total, K = feldespato potásico, P = plagioclasa, Lt = fragmentos líticos totales, Lv = fragmentos líticos volcánicos y Ls = fragmentos líticos sedimentarios.

Se realizó un cuidadoso análisis de las areniscas de la secuencia Triásica para conocer sus características texturales. Sin embargo, tomando en cuenta que, tanto el cemento como la escasa matriz presentes en las muestras, pueden llegar a estar condicionados por la diagénesis, únicamente se ha tomado en cuenta para el análisis de procedencia la fracción clástica de las mismas (Dickinson, 1970). Los resultados de los componentes modales se presentan en la tabla 4.

En general, las muestras analizadas varían en tamaño de grano fino a grueso, variando de pobremente a moderadamente clasificadas, son escasas las que están bien clasificadas. La forma de los fragmentos es en su mayoría de angulosa a subredondeada y en menor cantidad están redondeados. El contacto entre los fragmentos es recto, observándose en ocasiones contactos cóncavos-convexos. Están elasto soportadas, ocurriendo escaso cemento formado por minerales de la arcilla, llegando a presentar crecimientos aislados de sericita y clorita, los cuales muestran un tenue alineamiento preferencial (esquistosidad). Presentan además sílice criptocristalina a microcristalina y en algunas muestras se observan carbonatos relleno de huecos intergranulares y reemplazando algunos de los constituyentes

de la roca. Es común encontrar en algunas muestras señales o marcas de presión, esto sobretodo en el área de Real de Catorce. En general, las muestras analizadas presentan textura submadura a madura. (Ver anexo 1).

Localidad	Muestra	Qm	Qp	K	Pl	Ls	Lv	Lm	Matriz	Total
Cañón El Alamar	CAL 01	549	38	179	44	49	0	16	114	989
	CAL 04	150	18	35	20	22	4	8		257
	CAL 1.1	552	14	278	56	7	0	19	72	936
	CAL 1.1.1	205	9	26	15	8	3	12	3	281
	CAL 1.1.4	75		5					12	92
	CAL 1.1.8	489	21	175	4	26	0	10	268	993
	CAL 1.2.3	35	10	10	15	5	4	8	5	92
	CAL 1.2.4	417	15	352	87	15	0	17	28	931
Área de Charcas	CHR 3-03	482	60	258	61	23	3	49	94	1000
	CHR 6-03	559	59	271	87	29	20	34	40	1099
	CHR 8-03	475	68	226	46	54	5	27	65	968
	CHR 9-03	492	66	261	73	27	2	64	44	1029
Presa de Santa Gertrudis	ENC -1	35		25	10	5	4	3	7	89
Cañón El Novillo	CN 2-1	569	37	10	0	39	0	51	186	892
	CN 2-2	225	64	5	0	27	0	12	99	432
Área de La Ballena	LBP 03	502	37	297	99	4	2	34	108	1083
Cañón de La Boca	LBP 1	300	40	28	0	0	0	0	26	394
	LBP 2	472	40	369	57	21	0	6	54	1019
Cañón de Peregrina	Peregrina	665	101	0	0	54	0	103	259	1182
Real de Catorce	RC 23	461	30	80	0	35	0	6	123	735
	RC 25	490	32	20	0	11	0	15	13	581
	RC 27.1	277	177	20	0	29	0	26	158	667
	RC 28b	483	27	376	0	5	0	10	121	1022
Área de San Marcos	SMP 2.1	417	51	164	14	58	13	65	169	949
	SMP 2.3b	363	32	178	30	34	4	7	147	795
	SMP 2.4	677	80	124	24	94	10	82	182	1273
	SMP 2.6a	413	76	211	22	74	4	76	187	1065

Tabla 4. Resultados obtenidos del método por conteo de puntos. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo Policristalino, K: feldespato potásico, Pl: plagioclasa, Ls: fragmentos líticos sedimentarios, Lv: fragmentos líticos volcánicos, Lm: fragmentos líticos metamórficos.

Los fragmentos de cuarzo son los más abundantes y han sido diferenciados en cuarzo monocristalino y cuarzo policristalino; los fragmentos de feldespato potásico son ligeramente mayores que los fragmentos de plagioclasa. Los fragmentos líticos corresponden a granos de rocas sedimentarias, metamórficas y en menor proporción a rocas volcánicas. Los granos observados corresponden a areniscas de grano fino, pizarras y

esquistos. Los fragmentos correspondientes a rocas volcánicas, están formados por plagioclasas y cuarzo.

La composición modal obtenida se graficó en los diagramas triangulares de clasificación de Heinrich (1972), Fuchtbauer (1988) y McBride (1963), (Figura 18). Estos diagramas, toman como base los principales componentes de una roca clástica (cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos). Así como en los diagramas de discriminación de marcos tectónicos de áreas de procedencia propuestos por Dickinson and Suezeck, (1979) y Dickinson et al., (1983), (Figura 19).

En el diagrama de Heinrich se puede observar que la mayoría de las muestras caen en los campos de Arcosa, Arenisca feldespática y Arenisca, graficando únicamente en los campos de Grauwaca y Subgrauwaca, las muestras del Cañón del Novillo, Cañón de Peregrina, área de San Marcos, una muestra del Cañón El Alamar y una muestra perteneciente a Real de Catorce. También se puede observar que las muestras en realidad son muy pobres en minerales de la arcilla.

De acuerdo al diagrama de Fuchtbauer, la mayoría de las muestras presentan como componente principal al cuarzo, en menor proporción el feldespato y escasos fragmentos líticos. Graficando en los campos de arcosa, arcosa litica, subarcosa, subarcosa litica y sublarenita, en el diagrama de McBride. En base a estas características petrológicas se puede interpretar que las muestras provienen principalmente de bloques continentales, ya que la mayoría de ellas son areniscas cuarzofeldespáticas, pobres en fragmentos líticos. Otra procedencia que se puede interpretar, sobre todo para algunas muestras pertenecientes a las áreas de El Cañón El Alamar, Cañón del Novillo, Cañón de Peregrina, Área de San Marcos y Real de Catorce, es la de Orógeno reciclado, ya que las muestras son areniscas escasas en feldespatos, con un mayor contenido de fragmentos líticos. De acuerdo a estas características, también se puede interpretar como ambiente de depósito para estos sedimentos una margen pasiva.

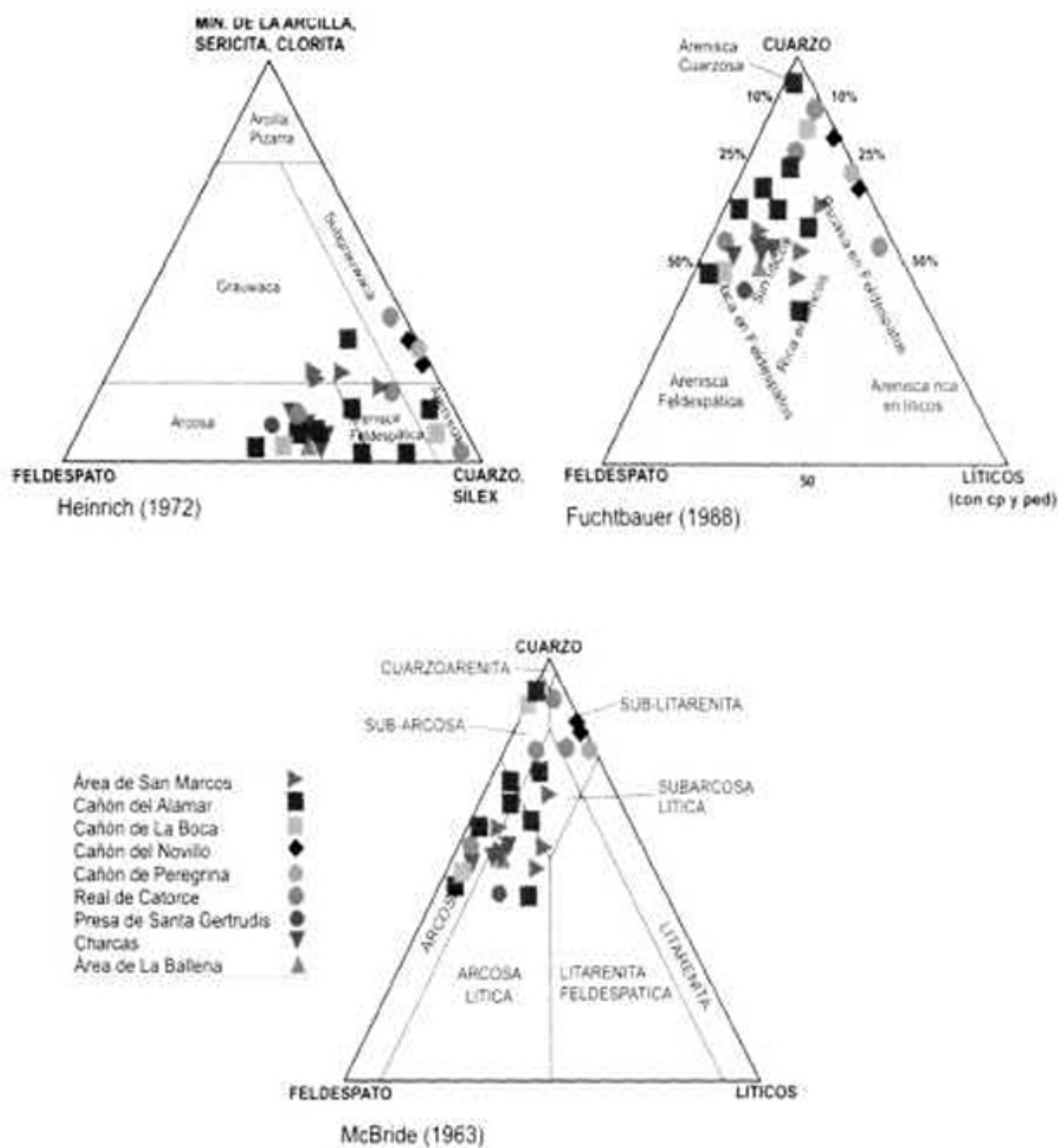


Figura 18. Diagramas ternarios para clasificación de areniscas.

Los datos obtenidos en el análisis de conteo de puntos, también se utilizaron para la discriminación de ambientes tectónicos de áreas de procedencia, para las zonas estudiadas. Para esto, se tomaron como base los diagramas propuestos por Dickinson and Suezeck, (1979) y Dickinson et al., (1983), en los cuales se puede observar lo siguiente:

En general, las muestras presentan como fuente de aporte principal bloques continentales y orógeno reciclado con tendencia hacia el ambiente mezclado, sobre todo en el segundo diagrama en el cual algunas muestras sí caen en este campo. Las muestras pertenecientes a las secuencias expuestas en el Cañón de Peregrina y Cañón del Novillo, derivan de una fuente de orógeno reciclado, siendo escasas en feldespato y con proporción moderada de fragmentos líticos, pero con el componente principal cuarzo, lo que nos indica que la fuente de aporte de los sedimentos reciclados, fue una fuente cratónica. Para las rocas del Cañón El Alamar se puede observar que muestran como fuente de origen de los sedimentos un ambiente de bloque continental y un ambiente de orógeno reciclado.

Las muestras pertenecientes al área de San Marcos, muestran tres tipos de ambientes de procedencia: ambiente de bloque continental, ambiente mezclado y ambiente de orógeno reciclado, mostrando una mayor cantidad de fragmentos líticos y una menor proporción de feldespato; a diferencia de la muestra SMP 2.3b correspondiente a un bloque continental y que muestra una composición sin líticos y rica en feldespato, en el diagrama de Fuchtbauer.

En cuanto a las areniscas de la secuencia triásica que aflora en el Cañón de La Boca, indican como fuente de aporte de los sedimentos, un bloque continental. Tendiendo la muestra LBP 1 hacia el campo de las rocas maduras, indicándonos que esta probablemente tuvo más transporte que la muestra LBP 2, la cual en el diagrama de Fuchtbauer presenta una composición sin líticos y rica en feldespato.

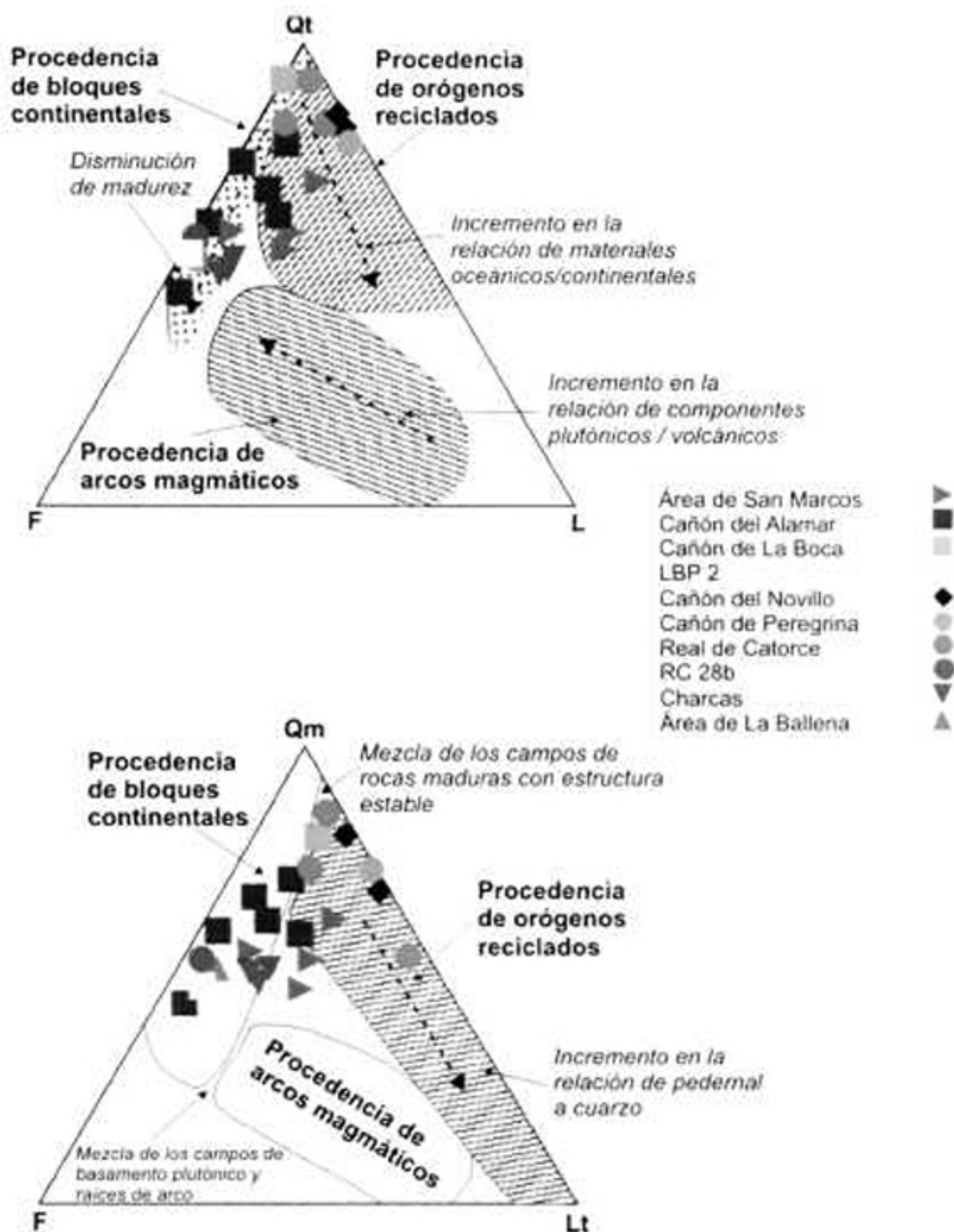


Figura 19. Diagramas triangulares para discriminación de ambientes de procedencia de Dickinson and Suezeck (1979) y Dickinson (1983). Q: cuarzo monocristalino y cuarzo policristalino; Qm: cuarzo monocristalino; F: Feldespato + Plagioclasa; Lt: Fragmentos Líticos.

Las muestras analizadas de la secuencia siliciclástica expuesta en el área de Real de Catorce muestran dos tipos de ambientes de procedencia; ambiente de orógeno reciclado, tendiendo hacia el campo de rocas maduras, lo que nos indica que estos sedimentos probablemente han sufrido mayor transporte. La muestra RC 28b (Real de Catorce), corresponde con un ambiente de procedencia de bloque Continental, dentro de Cratón transicional. Cabe aclarar que esta muestra pertenece a una secuencia siliciclástica que sobre yace a la secuencia siliciclástica triásica y más bien pudiera pertenecer al Jurásico Inferior, incluida de manera premeditada con las muestras triásicas, al igual que la muestra LBP-2, la cual también pertenece a la secuencia del Jurásico Inferior del noreste y como se puede ver en los diagramas presentan mucha similitud en su composición, Silva-Romo et al. (2000) concluyó que las areniscas de la Formación Zacatecas en el área de la Sierra de Catorce eran Grauwacas constituidas principalmente de fragmentos de cuarzo retrabajado de origen ígneo y metamórfico, teniendo como fuente de aporte un orógeno reciclado.

Las muestras recolectadas en el área de Charcas muestran como fuente de aporte de los sedimentos una procedencia de bloque continental, tendiendo hacia un origen de ambiente mezclado. Hoopé (2000) señala que las areniscas del área de Charcas tienen como fuente de origen tres ambientes: ambiente de bloque continental, ambiente mezclado y ambiente de orógeno reciclado.

La muestra recolectada en el área La Ballena, de acuerdo a lo observado en los diagramas tiene como fuente de aporte de sus componentes un bloque continental. Según Centeno-García et al (1993) las areniscas de la Formación La Ballena provienen del levantamiento de un complejo metamórfico y plutónico en un cinturón orogénico. Silva-Romo et al (2000), menciona que las areniscas de la Formación La Ballena (Formación Zacatecas) consisten principalmente de granos de cuarzo y algunos fragmentos de feldespatos de origen metamórfico, derivados de un orógeno reciclado.

4.2 GEOQUÍMICA

La geoquímica es una herramienta importante para la determinación de la fuente de aporte de los sedimentos que comprenden las rocas sedimentarias, complementando los datos obtenidos del análisis petrográfico. Numerosos estudios geoquímicos de elementos mayores, traza y tierras raras, así como relaciones isotópicas sobre la composición química de las rocas sedimentarias se han llevado a cabo, con el objetivo de entender la relación que existe entre la composición de la roca que dio origen al sedimento y la de la roca que resulta de la litificación del mismo. Ya que en su composición los sedimentos llegan a preservar un registro de su procedencia, lo que nos permite examinar la relación existente entre la composición de la roca fuente, la naturaleza y la distribución de los sedimentos (McLennan, 1989).

Las rocas ideales para este tipo de análisis son las terrigenas de grano fino (lutitas, limonitas y areniscas de grano fino), ya que esto nos permite contar con una muestra homogénea de tamaño pequeño (Centeno-García y Sánchez-Zavala, www.geologia.unam.mx/academia/Temas/Procedencia/procedencia.html, 2004).

En este apartado se reportan los resultados obtenidos de los análisis geoquímicos de elementos mayores, tierras raras (REE) y otros elementos traza, realizados en 19 muestras de areniscas recolectadas en las diferentes áreas de estudio. Los análisis se realizaron en roca total en los laboratorios comerciales Act Labs de Canadá; por medio del método ICP-MS, (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer). Con estos resultados se construyeron diagramas de clasificación química y de discriminación tectónica, para la interpretación del origen de estas rocas. Los resultados obtenidos se muestran en las (tablas 5, 7 y 8)

Localidad	Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL
Área de la Ballena	LBP 02	61.69	0.790	17.61	5.62	0.013	1.67	0.39	0.64	3.72	0.13	6.91	99.37
	LBP 03	79.88	0.627	9.21	3.37	0.040	0.60	0.60	3.00	0.79	0.10	1.78	100.00
Real de Catorce	RC 2RB	53.04	1.173	7.33	7.76	0.059	0.59	1.19	0.11	1.54	0.15	4.74	77.68
	RC 23	76.95	0.475	9.56	5.15	0.031	1.10	0.42	2.29	0.07	0.11	3.21	99.98
	RC 17	63.33	0.584	11.34	4.71	0.061	1.51	6.51	1.63	2.26	0.13	6.03	100.09
Área de San Marcos	SMP 2.6B	69.07	0.710	14.24	6.71	0.030	1.49	0.36	1.25	2.57	0.14	3.41	99.97
	SMP 2.6B	73.13	0.839	11.77	4.78	0.035	0.95	1.34	2.44	1.67	0.11	3.20	100.25
Cañón El Alamar	CAL 1.1	69.42	0.951	10.07	5.18	0.119	2.11	3.92	1.40	1.59	0.12	5.20	100.07
	CAL 1.1.1	77.26	0.657	10.36	3.69	0.058	2.06	0.28	1.50	1.23	0.07	3.00	100.17
	CAL 1.1.4	69.62	0.770	13.43	5.77	0.036	2.19	0.26	0.56	2.98	0.07	4.04	99.53
	CAL CONC	26.33	0.464	11.46	11.31	0.501	4.44	21.13	0.17	1.47	0.14	19.96	99.37
Cañón de La Boca	LBP 2	76.54	0.202	10.92	1.61	0.066	0.89	2.22	1.22	2.56	0.02	3.72	99.97
	LBP 2	66.13	0.569	14.81	4.36	0.155	3.51	1.74	0.23	3.63	0.32	4.59	100.06
Cañón El Novillo	CN 2.1	81.25	0.577	12.23	0.47	0.003	0.17	0.05	0.20	1.70	0.05	2.38	99.07
	CN 1.3	65.31	0.996	15.66	8.42	0.036	1.66	0.14	0.40	2.96	0.05	4.28	100.13
Área de Charcas	CHR 1.03	74.86	0.537	11.58	3.74	0.044	1.20	0.46	3.64	1.68	0.08	3.40	99.21
	CHR 2.03	62.07	0.874	18.54	5.43	0.035	1.92	0.43	0.71	4.37	0.15	5.30	99.92
	CHR 5.03	66.67	0.804	14.81	2.14	0.017	0.77	0.80	0.57	3.43	0.08	9.55	100.13
	CHR 7.03	64.45	0.902	17.65	3.83	0.018	1.42	0.33	0.46	4.33	0.09	6.31	99.78

Tabla 5. Resultados obtenidos de los análisis geoquímicos en roca total, por elementos mayores.

A diferencia de la clasificación de las rocas ígneas, en las rocas sedimentarias es difícil encontrar la relación que existe entre la mineralogía y la composición geoquímica, por lo que esta se basa principalmente en la madurez e inmadurez de los sedimentos. El método geoquímico más usado para determinar la madurez del sedimento es por medio del contenido de SiO₂ y la relación SiO₂/Al₂O₃, los cuales reflejan la abundancia del cuarzo y el contenido de arcilla y feldespato (Potter, 1978), ya que el cuarzo se desarrolla a partir del material arcilloso primario, mostrando un incremento en la relación SiO₂/Al₂O₃, así como un decremento en la abundancia de los elementos traza. Otro indicador de la madurez es el contenido de álcalis (Na₂O + K₂O) también como proporción del contenido de feldespato. Cabe aclarar que estas clasificaciones deben ser tomadas con cautela, ya que el Na y K se comportan como elementos muy móviles durante la diagénesis y el metamorfismo; así como el SiO₂ y Al₂O₃ pueden llegar a mostrar un incremento en el cuarzo con un decremento en los feldespatos.

Basado en el grado de madurez química SiO₂ / Al₂O₃ y la relación Na₂O / K₂O, Pettijohn et al., (1972) propusieron una clasificación de areniscas. Este diagrama se ha tomado como base para hacer la clasificación geoquímica de las muestras analizadas, graficando dichas

muestras en los campos de Arcosa, Grauwaca y Arenita Lítica (Figura 20), corroborando la información obtenida con el conteo de puntos. Dado que en la petrografía las mismas muestras clasificaron principalmente como Arcosas y Grauwacas; es pertinente aclarar que las muestras que grafican como arcosas muestran un alto contenido de K_2O y bajos valores de Na_2O en comparación con las Grauwacas (ver análisis de la tabla 5). Esto se puede observar en la figura 21, en la cual se ha interpretado que el alto contenido de Na_2O puede ser debido a que el feldespato se albitiza in situ. Es decir, los carbonatos no detriticos pueden reemplazar tanto a la matriz como a los granos de feldespato (carbonatación), propiciando probablemente la albitización del feldespato (Pettijohn, 1973).

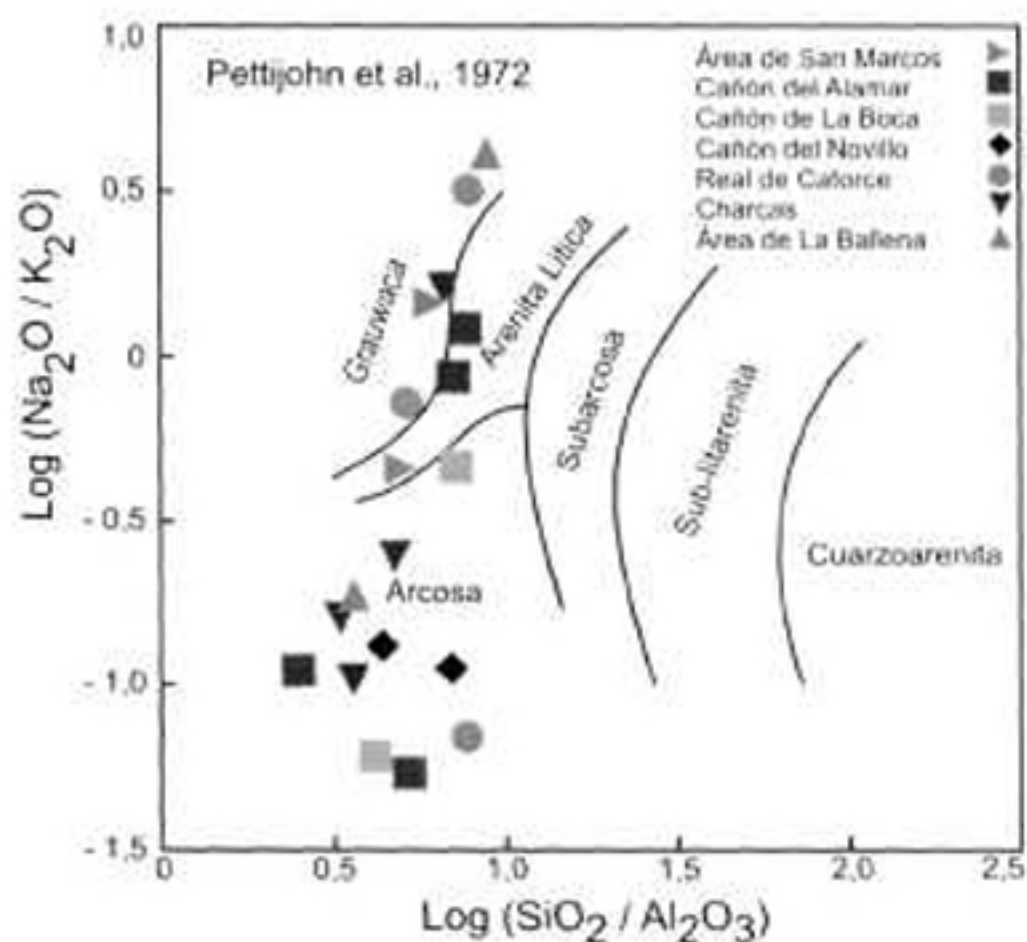


Figura 20. Diagrama de clasificación de areniscas.

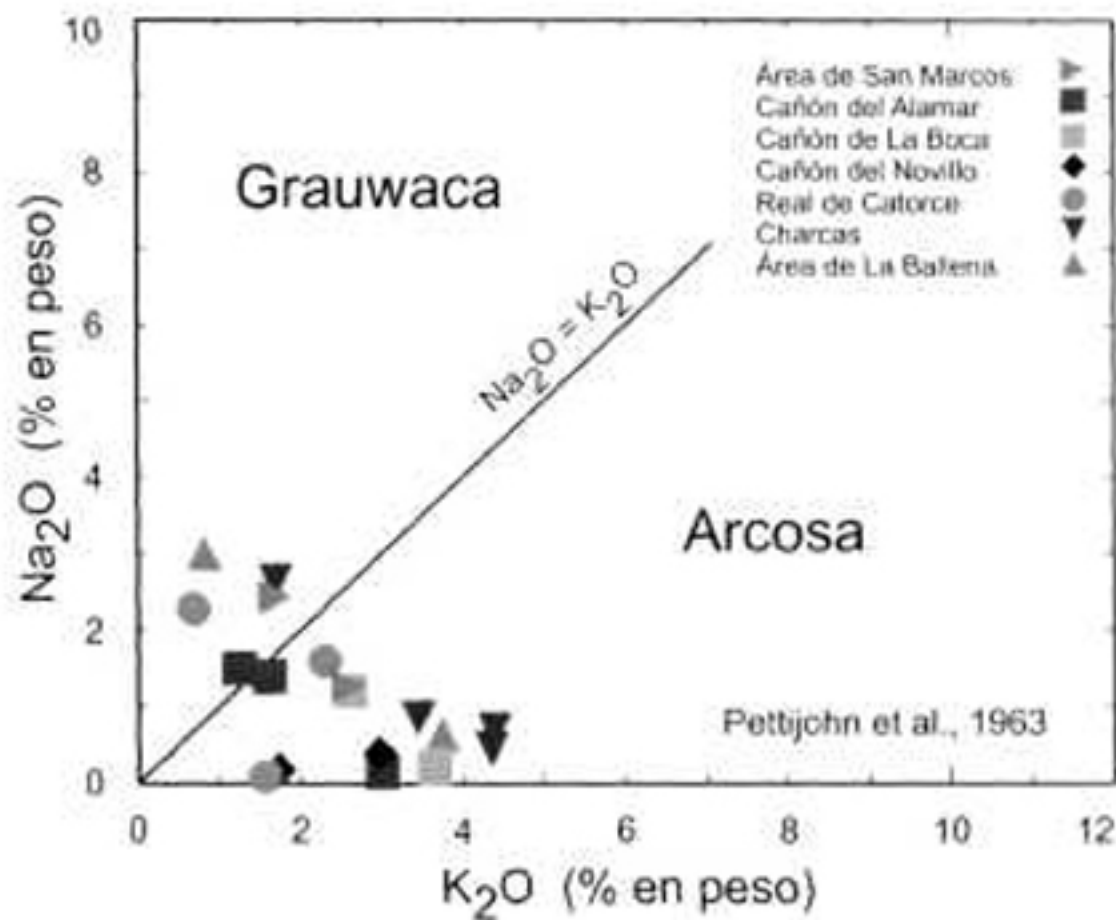


Figura 21. Diagrama que representa la relación $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ en las arcosas y en las grauwacas.

Ya que las rocas sedimentarias pueden llegar a estar muy influenciadas por la diagénesis, se graficaron todas las muestras en el diagrama triangular propuesto por Blatt et al., (1972), en el cual se grafican el contenido de Na_2O , K_2O y la relación de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$, (Figura 22), tomándose en cuenta que el contenido de hierro está controlado por el estado de oxidación del sedimento. En este diagrama se observa el alto contenido de minerales ferromagnesianos que presentan la mayoría de las muestras analizadas, además de observarse como las muestras clasificadas como Grauwacas tienen proporciones más altas de Na_2O que las Arcosas.

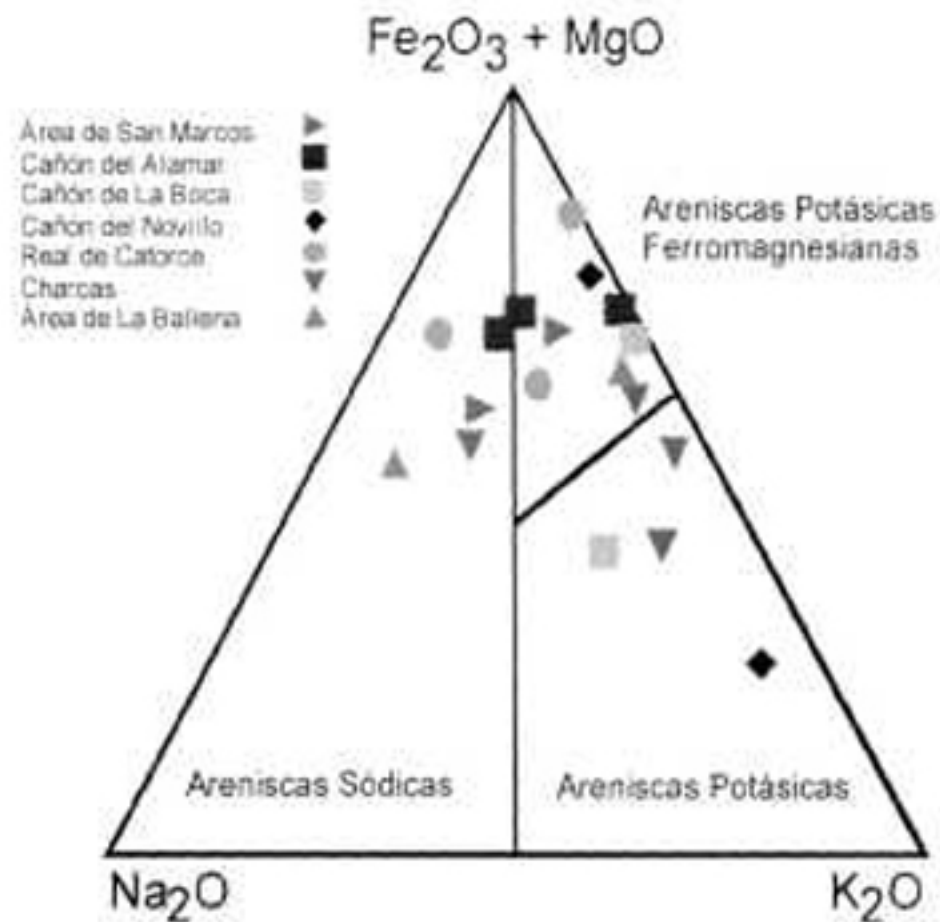


Figura 22. Diagrama de clasificación de areniscas propuesto por Blatt et al., 1972.

Como ya se mencionó anteriormente, la geoquímica de las rocas sedimentarias nos da a conocer la naturaleza y proporciones de sus componentes, así como también nos sirve para determinar su procedencia y discriminar ambientes tectónicos.

Bathia (1983) propone un diagrama de discriminación basado en un diagrama de funciones discriminantes, tomando como referencia las proporciones de los elementos mayores y determina cuatro ambientes tectónicos de depósito relacionados con una procedencia específica. También a partir de la concentración de los elementos mayores, propone una clasificación de los ambientes tectónicos relacionados a la cuenca de depósito y al tipo de procedencia. Como se puede observar en el diagrama de discriminación propuesto por Bathia, las muestras analizadas caen en los ambientes de margen pasiva y margen continental activa; graficándose en el ambiente de arcos de islas continentales la muestra RC 17 perteneciente a la secuencia silisiclastica jurásica del área de Real de Catorce. Las muestras que caen en el campo de margen continental activa muestran una tendencia hacia el campo de margen pasiva (Figura 23).

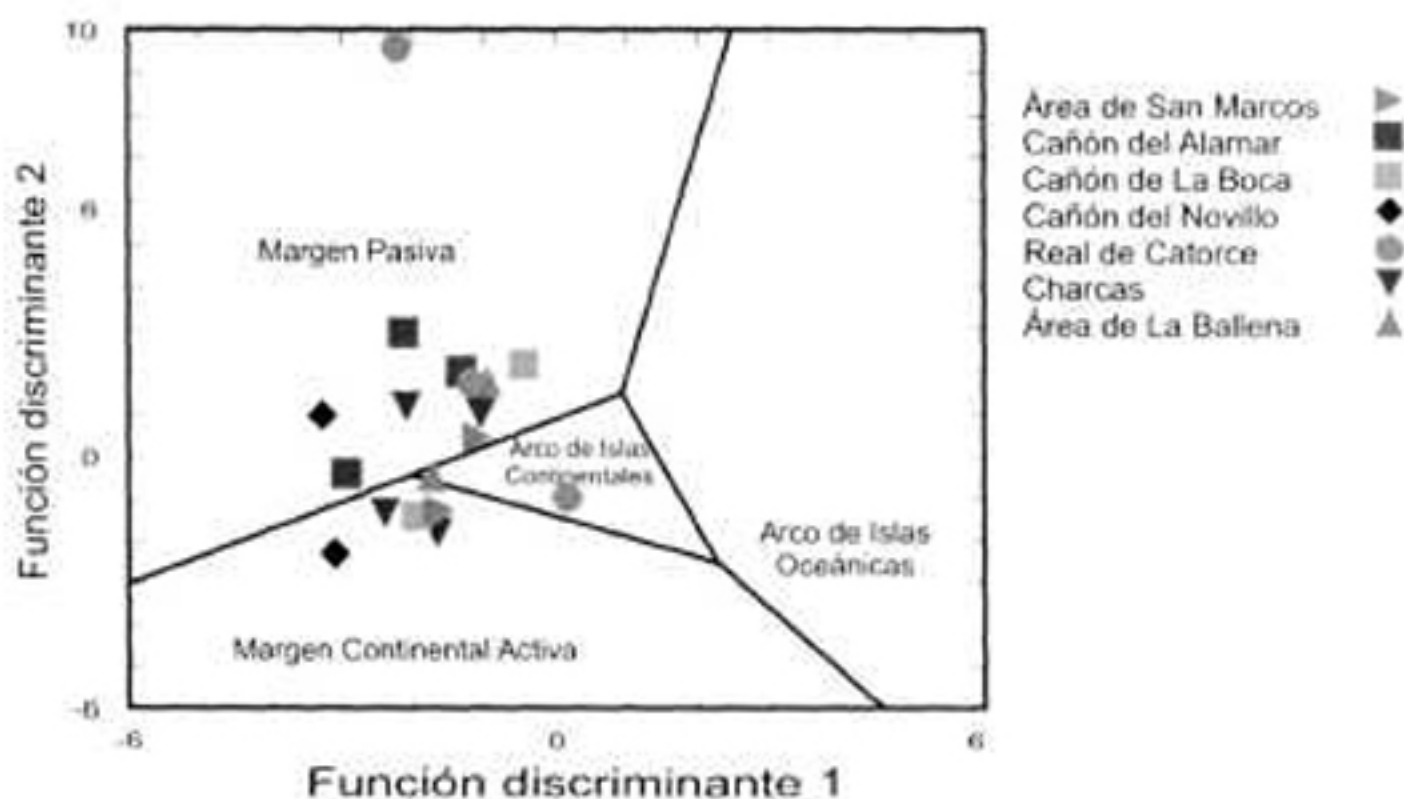


Figura 23. Diagrama de discriminación de ambientes tectónicos propuesto por Bathia (1983).

Función discriminante 1 = $-0.0447 \text{ SiO}_2 - 0.972 \text{ TiO}_2 + 0.008 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.267 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0.208 \text{ FeO} - 3.082 \text{ MnO} + 0.140 \text{ MgO} + 0.195 \text{ CaO} + 0.719 \text{ Na}_2\text{O} - 0.032 \text{ K}_2\text{O} + 7.510 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0.303$.

Función discriminante 2 = $-0.421 \text{ SiO}_2 + 1.988 \text{ TiO}_2 - 0.526 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.551 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1.610 \text{ FeO} + 2.720 \text{ MnO} + 0.881 \text{ MgO} - 0.907 \text{ CaO} - 0.177 \text{ Na}_2\text{O} - 1.840 \text{ K}_2\text{O} + 7.244 \text{ P}_2\text{O}_5 + 43.57$.

Roser y Korsch, (1986) establecen una clasificación tectónica basada en el contenido de SiO_2 y la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, así como en las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, definiendo así tres categorías de marcos tectónicos: Margen Continental Pasiva, Margen Continental Activa y Arcos de Islas oceánicas. Haciendo énfasis de la influencia que tiene el tamaño del grano en la composición modal y química de las areniscas; en donde hay una relación directa entre el tamaño de grano y el contenido de SiO_2 , Na_2O y K_2O ; encontrando que el contenido de SiO_2 y Na_2O es mayor en areniscas que en rocas de grano más fino, en las cuales la concentración de K_2O aumenta (Rowe, 1980 y Roser, 1983). (Figura 24). En el primer diagrama se puede observar que la mayoría de las muestras analizadas caen dentro del campo de margen pasiva, y otras caen en el campo de margen continental activa, pero

mostrando una marcada tendencia hacia el ambiente de margen pasiva. En el segundo diagrama, como se puede observar todas las muestras grafican dentro del ambiente tectónico de margen pasiva, lo cual es acorde con otros diagramas y con otras observaciones; por lo que quizás es más confiable para discriminar ambientes tectónicos de sedimentos antiguos.

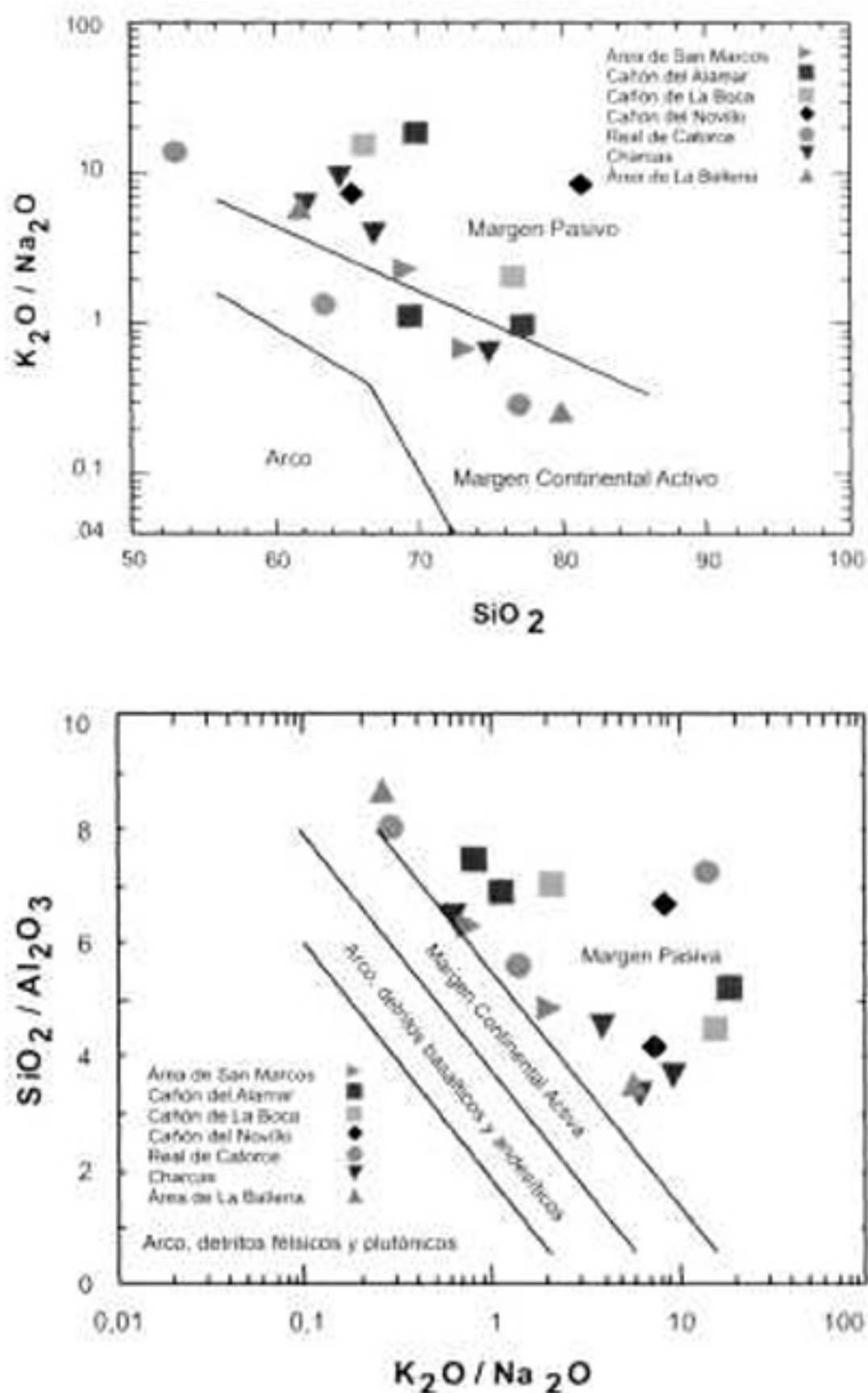


Figura 24. Diagramas de discriminación de ambientes tectónicos de depósito, propuestos por Roser y Korsch (1986).

Uno de los inconvenientes de las discriminaciones tectónicas y de procedencia, basadas en diagramas que muestran las relaciones de elementos mayores, es que las diferencias de porcentaje entre los diferentes campos son mínimas (del orden de 0,2%), las cuales pueden perderse o mal interpretarse; además de que la concentración de los elementos mayores se ve afectada por los procesos de intemperismo, diagénesis y de metamorfismo, siendo el Na, K, Ca, Sr, Cs-Rb, Ba, Fe y Mn altamente móviles a bajas temperaturas. Centeno-García y Sánchez-Zavala (www.geología.unam.mx/academia/Temas/Procedencia/procedencia.html).

ANÁLISIS DE PROCEDENCIA POR MEDIO DE ELEMENTOS TRAZA.

La composición de las rocas sedimentarias tiene importantes contribuciones en la interpretación de marcos tectónicos, debido a que muchas fuentes de procedencia han sido destruidas y el único registro de ellas permanece en los sedimentos que derivaron de las mismas. Por lo que la relación entre la composición del sedimento y el marco tectónico proporciona una poderosa herramienta para el reconocimiento de marcos tectónicos antiguos (Bathia y Crook, 1986).

La geoquímica de los elementos traza, especialmente de los que son relativamente inmóviles puede ser muy útil para inferir el marco tectónico y el tipo de procedencia. Varios elementos traza, tales como Y, Th, Zr, Hf, Nb y Sc o las Tierras Raras (La, Ce, Nd, Gd, Yb), son de los más útiles para determinar procedencia y ambientes tectónicos, ya que sus valores no se alteran significativamente durante los procesos sedimentarios, debido a su baja concentración en las aguas de mar, a su corto tiempo de residencia y a su insolubilidad; estos elementos son transportados cuantitativamente en los sedimentos durante el intemperismo y el transporte, por lo que pueden reflejar la huella de la roca madre (McLennan et al., 1983), llegando a ser más útiles en la discriminación de ambientes tectónicos que los elementos mayores. Sin embargo los estudios existentes, relacionados a la geoquímica de elementos traza en las rocas sedimentarias aún son muy pocos.

La desventaja que llegan a presentar los elementos traza como indicadores de procedencia y ambiente, es que la composición mineralógica total de la muestra, el contenido de minerales pesados y el tamaño de grano pueden causar variaciones locales en sus

concentraciones. En general existe un incremento sistemático en las concentraciones de La, Ce, Nd, Hf; y en las relaciones Ba/Sr, Rb/Sr, La/Y y Ni/Co y un decremento en las concentraciones de los elementos ferromagnesianos Sc, V, Cu, Co y Zn, y en las relaciones Ba/Rb, K/Th y K/U; así como un incremento en los elementos Ba, Rb, Pb, Th, U y Nd conforme se pasa de los ambientes tectónicos de arco de islas oceánico a arco de islas continental a margen continental activa al de margen continental pasivo (Bathia y Crook, 1986). (Tabla 6). Sin embargo debido a la alta movilidad del Ba, Sr y Rb las mejores relaciones en la determinación de ambientes tectónicos son Sc/Cr y La/Sc, las cuales junto con las altas concentraciones de Zr son la base para diferenciar margen continental pasiva de margen continental activa y la relación La/Y es un buen indicador para diferenciar entre el ambiente de arco de islas continental y de margen continental activa, dicha relación también nos da el enriquecimiento de los elementos de las tierras raras ligeras sobre los elementos de las tierras raras pesadas.

	Arco de islas oceánicas	Arco de islas continentales	Margen continental activa	Margen pasiva
Ba	370	444	522	253
Rb	18	67	115	61
Pb	6.9	15.1	24	16
Rb/Sr	0.05	0.65	0.89	1.19
Ba/Rb	21.3	7.5	4.5	4.7
Ba/Sr	0.95	3.55	3.8	4.7
Th	2.27	11.1	18.8	16.7
U	1.09	2.53	3.9	3.2
Hf	2.1	6.3	6.8	10.1
Nb	2	6.5	10.7	7.9
K/Th	4055	1296	1252	681
K/U	8682	5631	5950	3950
Zr/Th	48	21.5	9.5	19.1
La	8.72	24.4	33	33.5
Ce	22.53	50.5	72.7	71.9
Nd	11.36	20.8	25.4	29
La/Y	0.48	1.02	1.33	1.31
La/Sc	0.55	1.82	4.55	6.25
Ti/Zr	56.6	19.7	15.3	6.74
Sc	19.5	14.8	8	6
V	131	89	48	31
Co	18	12	10	8
Cu	23	11	8	6
Zn	89	74	52	26
Ni/Co	0.62	1.22	1.04	1.42

Tabla 6. Concentración promedio de algunos elementos y relaciones traza en los diferentes ambientes tectónicos (Bathia y Crook, 1986).

Localidad	Muestra	Rb	Ba	Th	U	Ta	Nb	Sr	Zr	Hf	Y	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
Área de la Ballena	LBP 02	179	1.040	12.4	3.15	0.90	10.8	70	156	3.9	34.0	19	206	139	6	35	10.5	127
	LBP 03	35	197	9.10	1.93	0.59	7.6	50	362	9.3	17.0	8	60	35	6	-20	1.8	-30
Real de Catorce	RC 28b	81	160.000	8.48	2.72	-0.01	10.4	7.130	940	21.5	17.8	8	97	80	6	-20	19.8	-30
	RC 23	30	139	5.73	1.53	0.49	6.7	47	206	6.4	22.4	7	54	34	6	28	4.2	-30
	RC 17	91	411	6.89	1.80	0.65	9.1	150	151	4.5	25.9	11	82	57	9	27	7.1	-30
Área de San Marcos	SMP 2.3B	84	608	9.68	2.04	0.67	9.4	24	343	8.2	19.9	13	101	46	17	-20	5.8	52
	SMP 2.6B	53	653	7.90	1.57	0.59	9.3	40	380	9.5	17.5	11	78	42	9	-20	2.4	32
Cañón El Amar	CAL 1.1	57	582	5.21	1.25	0.61	9.5	62	297	7.7	25.0	13	82	62	16	40	6.4	54
	CAL 1.1.1	37	325	6.21	1.61	0.53	7.7	45	396	9.8	17.9	9	62	32	7	-20	3.4	56
	CAL 1.1.4	108	927	9.82	2.12	0.78	10.6	18	188	5.7	21.4	15	104	57	13	26	9.4	90
	CAL COND.	62	634	7.19	1.83	0.48	7.1	96	85	2.8	48.9	13	81	61	45	77	5.2	202
Cañón de La Boca	LBP 2	90	545	4.48	0.97	0.28	4.9	43	117	3.3	11.0	5	26	-20	2	-20	6.6	-30
	LBP 3	126	905	13.9	2.73	0.93	11.4	23	237	6.6	45.6	12	69	-20	17	-20	5.0	110
Cañón El Novillo	CN 2.1	71	557	10.4	2.89	1.05	11.8	69	278	7.5	22.5	7	53	31	-1	-20	2.8	-30
	CN 1.3	92	773	7.66	1.15	0.56	9.0	96	274	7.3	17.4	20	116	77	16	31	9.0	47
Área de Charcas	CHR 1.03	67	411	6.98	2.00	0.50	7.9	62	178	4.9	15.7	10	70	36	7	-20	15.8	-30
	CHR 2.03	199	927	15.4	3.01	1.02	13.1	38	198	5.3	36.1	21	152	83	10	24	26.0	58
	CHR 5.03	138	721	11.2	3.44	0.80	11.6	48	212	5.7	27.8	16	141	64	6	-20	17.3	-30
	CHR 7.03	190	1.010	14.3	3.27	1.01	13.1	34	237	6.4	28.8	19	149	81	6	-20	30.9	55

Tabla 7. Resultados obtenidos de los análisis geoquímicos en roca total, por elementos traza.

Para la discriminación de marcos tectónicos de las muestras se emplearon los diagramas propuestos por Bathia y Crook (1986), en los cuales vemos que las muestras grafican en el campo de Arco de Islas Continentales, con una relación intermedia de La/Sc comparando con los valores presentados por Bathia y Crook (op. Cit.); solamente mostrando una tendencia hacia el campo de márgenes continentales las muestras pertenecientes al Cañón de La Boca y al Cañón del Novillo, las cuales presentan una relación La/Sc muy similar a la de margen continental activo, tendiendo hacia el polo del "La" (Figura 25).

En el diagrama ternario Sc-Th-Zr/10 se puede observar que también las muestras caen en el ambiente de Arco de islas continentales, mostrando una gran tendencia hacia el campo de margen pasivo y hacia el polo del Zr, la muestra RC 28b, que es la muestra con la más alta relación Zr/Th, nos está graficando muy cerca del polo del Zr. En general todas las muestras presentan una alta relación Zr/Th correspondiente a un ambiente de margen pasiva. Una posible explicación lógica de la tendencia de las muestras graficadas en estos diagramas, hacia el campo de arco de islas continentales, es el hecho de que existe en el modelo paleogeográfico para este tiempo, la presencia del arco Pérmico-Triásico, el cual seguramente estuvo aportando material clástico hacia la cuenca estudiada, según se seguirá discutiendo en estudios posteriores.

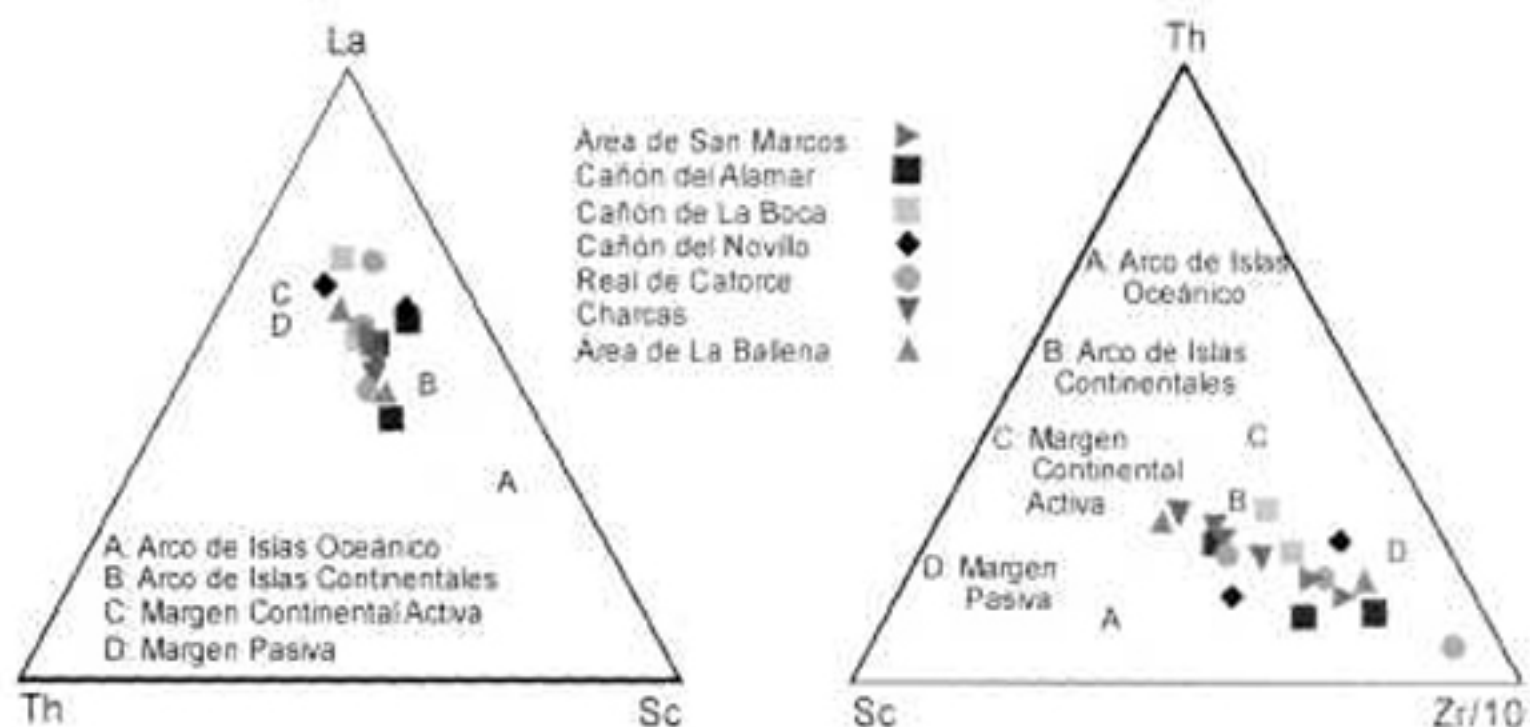


Figura 25. Diagramas ternarios de discriminación tectonosedimentaria basados en elementos traza, propuestos por Bathia y Crook (1986).

Una de las características de los elementos traza, es que se pueden usar para conocer enriquecimientos de elementos incompatibles sobre elementos compatibles, lo cual nos refleja el dominio de la fuente de aporte de los sedimentos. Un ejemplo de esto lo muestran las relaciones Th/Sc y Zr/Sc , donde el Zr puede estar enriquecido en el zircón, mientras que el Sc no es un elemento que se encuentre enriquecido en algún mineral, pero conserva la huella de la roca madre. La relación Th/Sc es un buen indicador de procesos de diferenciación, ya que el Th es un elemento muy incompatible, mientras que el Sc es un elemento compatible en los sistemas ígneos. La relación Th/Sc se utiliza como un indicador muy sensible para determinar la composición general del tipo de procedencia, encontrándose que las bajas concentraciones de Th/Sc (valores menores a 1), nos reflejan variaciones composicionales y generalmente una fuente menos diferenciada. En la figura 26 se puede observar que en general las muestras analizadas presentan una composición uniforme reflejando una procedencia de corteza continental quizás muy antigua. La relación Zr/Sc nos refleja el reciclamiento sedimentario con el enriquecimiento del zircón relacionado a la concentración de minerales pesados. En el diagrama se puede observar que las muestras presentan relaciones altas de Zr/Sc , lo que nos indica que tienen un ligero enriquecimiento de minerales pesados, los cuales se fueron concentrando en el sedimento durante el transporte y el reciclamiento, lo que nos indica una procedencia quizás de

orógeno reciclado. Sobre la muestra RC 28B, la cual fue tomada de manera premeditada en capas correspondientes a otra edad posiblemente del Jurásico Medio a Superior, en el diagrama nos muestra una muy alta relación Zr/Sc , comparada con las demás muestras, se puede interpretar que esta ha sufrido mucho transporte en el cual concentro gran cantidad de minerales pesados como es el caso del circón y con ello de Zr .

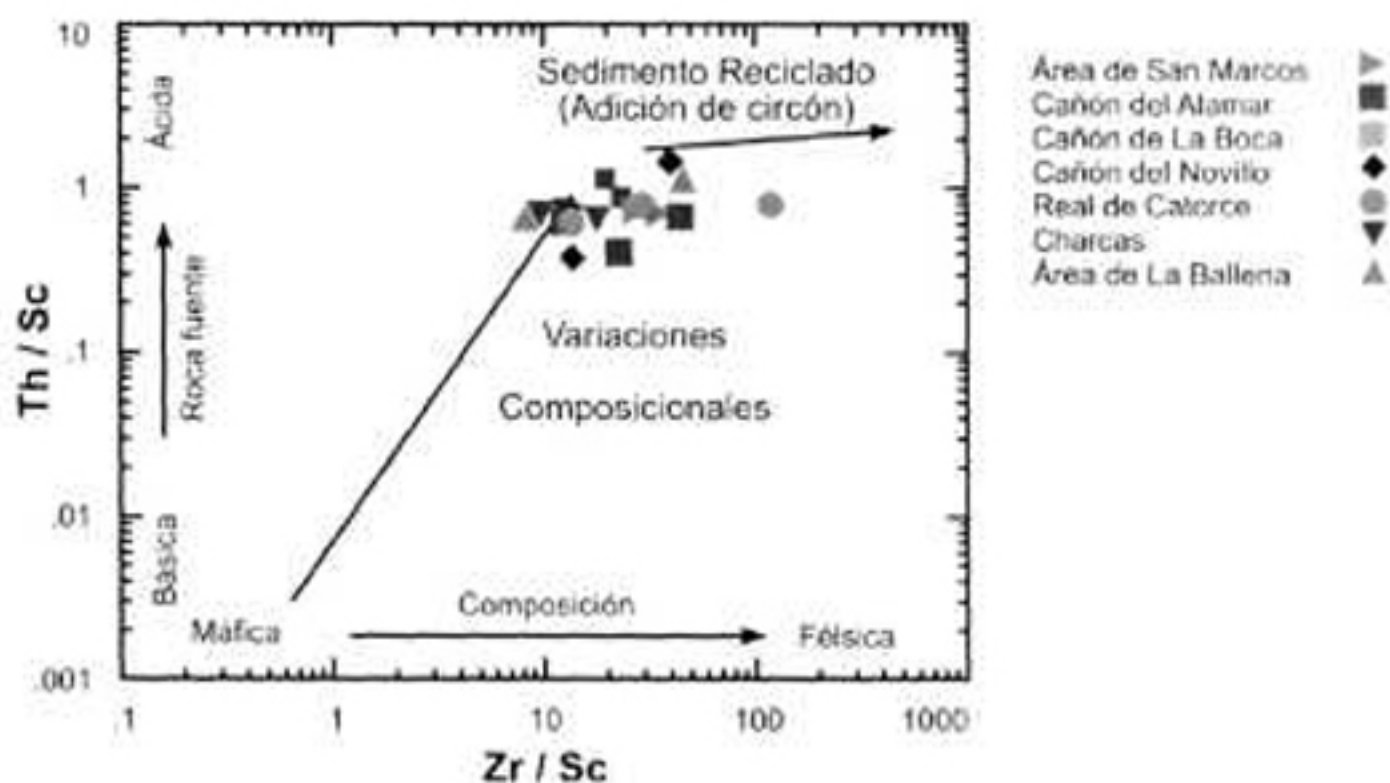


Figura 26. Diagrama que muestra el enriquecimiento de Circón en los sedimentos, resultado del sorteamiento y reciclamiento sedimentario, propuesto por McLennan, (1989a).

Los elementos de las Tierras Raras comprenden los elementos lantánidos, La-Lu, los cuales son considerados generalmente como elementos inmóviles, llegando a exhibir solamente pequeños cambios durante los procesos sedimentarios. Debido a su inmovilidad, estos elementos han sido extensamente utilizados para la discriminación de marcos tectónicos de las rocas volcánicas. Aunque en las rocas sedimentarias no han sido tan usados como para las rocas volcánicas, existen varios valores de normalización que se pueden emplear para los diferentes tipos de sedimento, los más comúnmente usados para este tipo de rocas, son los valores de PAAS (Post-Archean Australian Average Shale), ya que estos valores parecen ser muy similares a los valores promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).

Para la normalización de nuestros valores, nosotros tomamos como referencia los valores de NASC (North American Shale Composite), usando los valores propuestos por Gromet et.al., (1984) recomendados por Rollinson (1993). También se normalizaron a Condrito, con los valores propuestos por Taylor and McLennan (1985).

Localidad	Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	La/Lu		
Área de la Ballena	LBP 02	28.2	50.4	5.59	21.2	4.78	1.18	1.12	5.55	1.05	5.72	1.16	3.72	0.578	3.42	0.544	51.756
	LBP 03	26.8	55.4	6.40	25.2	5.15	0.992	0.28	4.14	0.64	3.38	0.64	2.11	0.316	2.04	0.324	82.187
Real de Catorce	RC 28b	13.1	28.7	3.47	15.1	3.05	1.46	0.43	3.23	0.49	3.08	0.61	1.96	0.318	2.33	0.405	32.212
	RC 23	17.8	36.8	4.24	17.1	3.94	1.04	0.26	4.79	0.83	4.65	0.87	2.66	0.377	2.18	0.334	53.311
	RC 17	39.3	49.1	7.68	31.9	6.52	1.39	0.76	6.49	0.92	4.97	0.91	2.66	0.415	2.63	0.392	100.141
Área de San Marcos	SMP 2 38	29.9	59.8	6.82	25.5	4.52	1.07	0.60	4.07	0.67	3.89	0.76	2.51	0.377	2.47	0.391	78.429
	BMP 2 68	22.9	50.4	6.05	24.9	5.56	1.36	0.40	4.71	0.71	3.61	0.69	2.18	0.315	2.05	0.329	69.518
Cañón El Alamar	CAL 1.1	26.0	55.1	7.02	28.5	5.92	1.41	0.42	5.31	0.88	4.82	0.93	3.03	0.455	2.89	0.426	61.020
	CAL 1.1.1	18.7	38.5	4.62	18.4	3.89	0.893	0.29	3.59	0.63	3.51	0.69	2.17	0.314	1.90	0.297	62.914
	CAL 1.1.4	18.5	34.8	3.89	15.3	3.16	0.961	0.81	3.25	0.61	3.94	0.83	2.87	0.459	2.96	0.458	40.500
	CAL CCNC	34.2	84.1	9.07	38.2	9.61	2.50	0.48	10.3	1.72	9.24	1.68	5.08	0.793	4.10	0.627	54.436
Cañón de La Boca	LBP 2	12.0	25.2	3.14	12.6	2.73	0.795	0.58	2.51	0.41	2.33	0.47	1.59	0.250	1.95	0.261	45.965
	LBP 3	57.8	101	13.2	52.0	11.0	2.03	0.93	9.45	1.48	8.18	1.61	5.39	0.848	5.08	0.829	69.730
Cañón El Nevado	CN 2.1	32.0	88.1	7.83	29.9	5.99	1.01	0.54	4.40	0.79	4.48	0.88	2.84	0.442	2.60	0.408	78.660
	CN 1.3	43.1	107	12.0	49.8	8.82	1.68	0.90	5.30	0.73	3.81	0.71	2.30	0.347	2.28	0.362	119.268
Área de Charcas	CHR 1-03	20.3	41.3	4.88	19.2	3.82	0.641	0.45	3.37	0.54	3.12	0.60	1.99	0.302	1.81	0.298	67.847
	CHR 2-03	36.5	79.1	9.44	38.1	8.06	1.66	1.28	7.19	1.25	6.95	1.35	4.29	0.645	3.77	0.585	62.378
	CHR 5-03	29.9	62.1	7.26	28.5	5.87	1.21	0.78	4.79	0.87	5.25	1.04	3.36	0.521	3.04	0.489	61.075
	CHR 7-03	33.3	79.5	8.32	32.0	6.39	1.20	1.01	4.95	0.91	5.52	1.09	3.58	0.565	3.30	0.541	61.515

Tabla 8. Resultados obtenidos de los análisis geoquímicos en roca total, de elementos de Tierras Raras.

En estos diagramas se puede observar que las muestras presentan patrones muy similares, mostrando un enriquecimiento en las tierras raras ligeras (LREE), patrones planos en las tierras raras pesadas (HREE) y una marcada anomalía negativa de Europio. Esta característica es típica de una procedencia de corteza continental antigua o de rocas sedimentarias recicladas. La marcada anomalía negativa de Europio es debido a que en la corteza continental se da la fusión parcial y la cristalización fraccionada, ambos procesos desarrollan diferenciación de plagioclasa, la cual desprende el Europio, dando como resultado la anomalía negativa. Para el área de Real de Catorce se observa que la muestra RC 28b presenta una anomalía positiva de Europio y un menor enriquecimiento en las Tierras Raras Ligeras, en comparación con las otras muestras, dado que pertenece a otra edad, como ya se había hecho mención y por lo tanto pertenece a otro ambiente tectónico. También se puede observar para el área del Cañón de la Boca, que la muestra LBP 2 refleja un patrón muy plano y con una no tan marcada anomalía negativa de Europio. Este tipo de

patrones es más característico de un arco no diferenciado y cabe aclarar que dicha muestra nuevamente corresponde con capas ubicadas por encima de la verdadera secuencia triásica, ya dentro de la secuencia jurásica que en este nivel refleja ya una influencia del arco volcánico del Jurásico Inferior (Figura 27).

La presencia de una anomalía positiva de Europio o la escasez de una anomalía negativa nos indica que las rocas de las que derivaron estos sedimentos no han experimentado algún tipo de diferenciación, por lo que los minerales que contienen Eu no han sufrido separación. Adicional ha esto, se puede observar que estas muestras presentan una baja relación de Th/Sc (<1.0) y menos enriquecimiento de las tierras raras ligeras.

En los diagramas normalizados a NASC las muestras presentan un cambio brusco en comparación con los diagramas normalizados a Condrito, presentando también patrones muy similares entre sí, mostrando patrones muy planos. Para el área de San Marcos se muestra un patrón muy plano con un anomalía positiva de Europio, al igual que para la muestra de Real de Catorce, en la cual se hace más marcada la anomalía positiva de Europio (Figura 28).

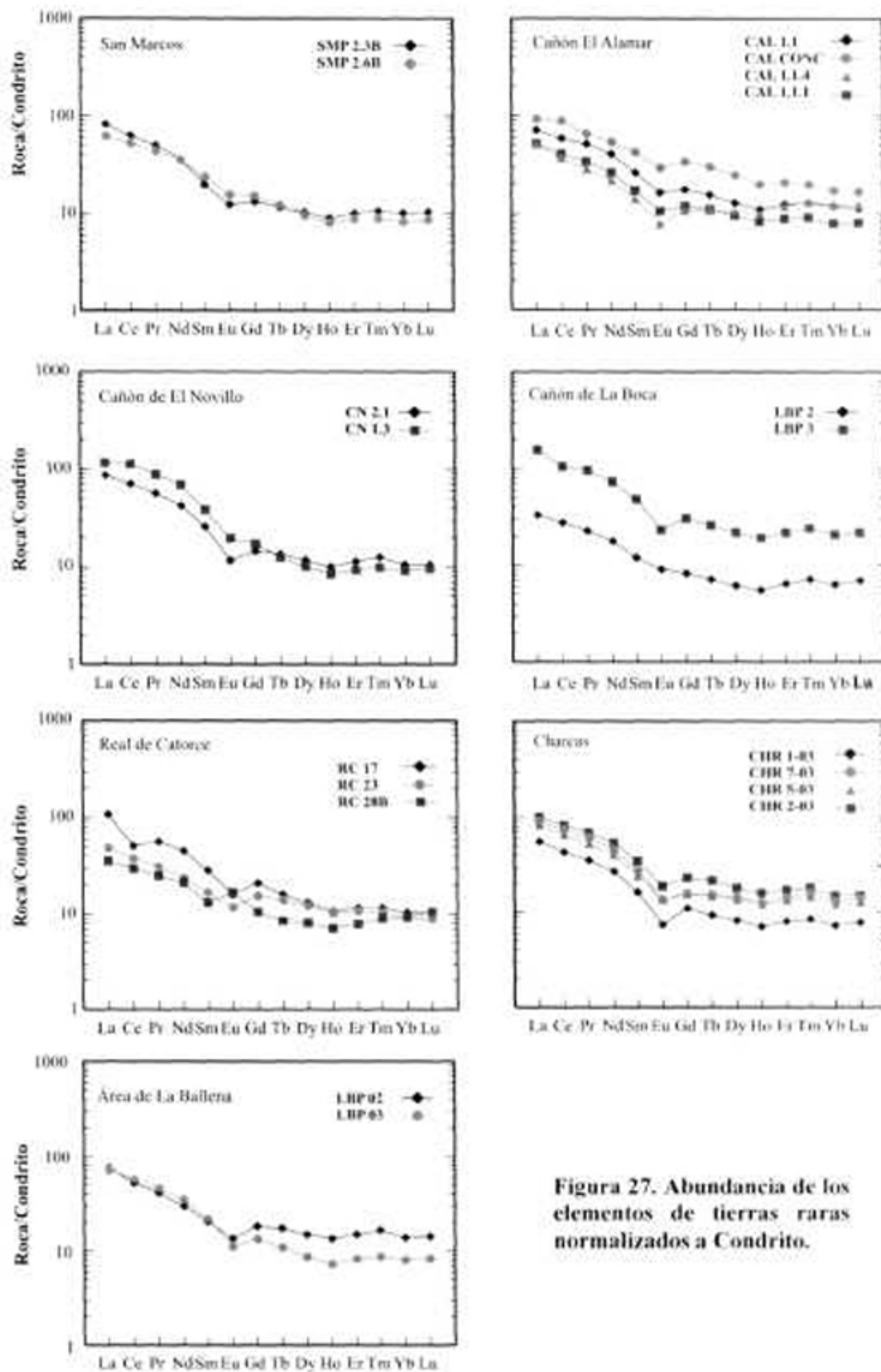


Figura 27. Abundancia de los elementos de tierras raras normalizados a Condrito.

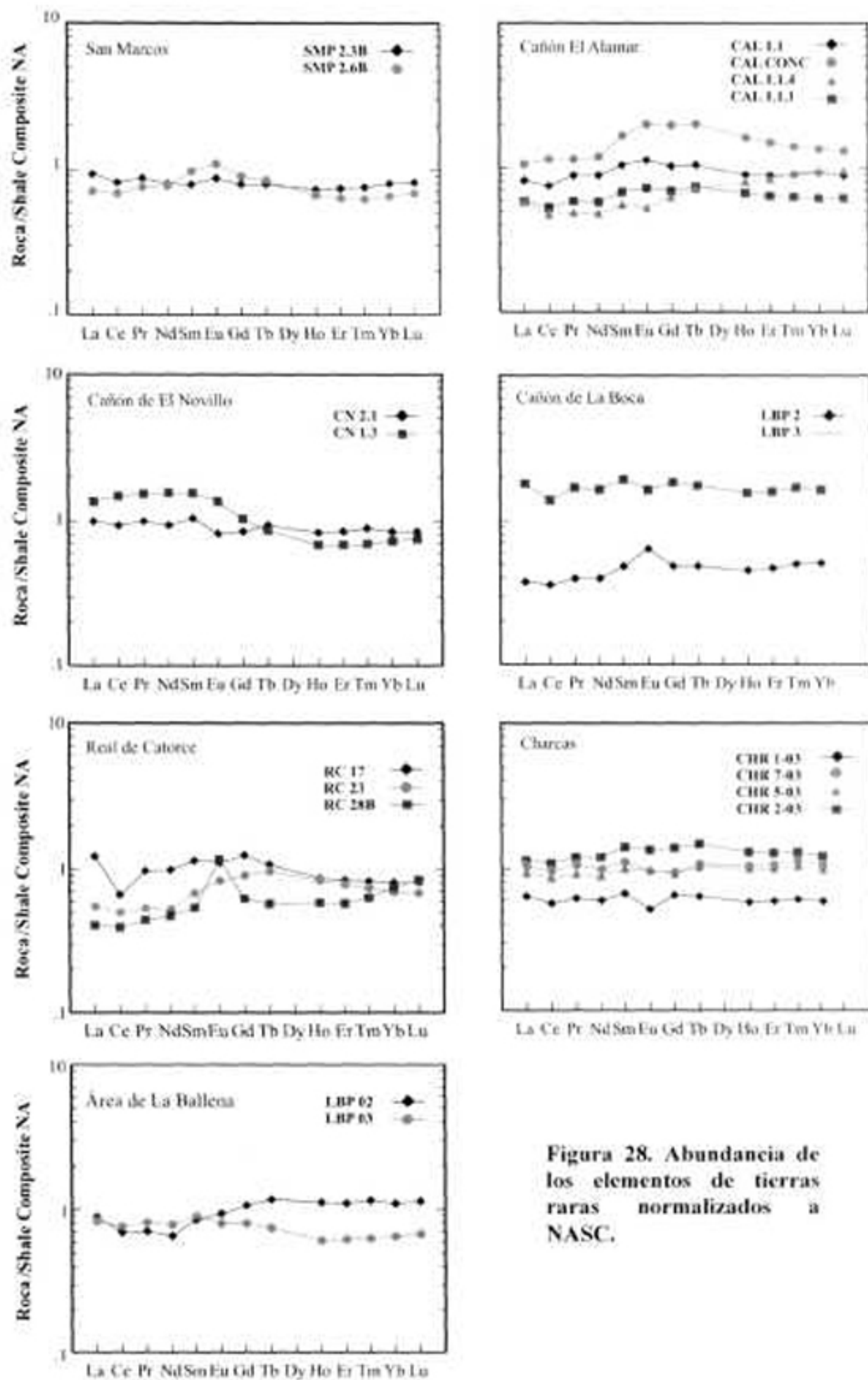


Figura 28. Abundancia de los elementos de tierras raras normalizados a NASC.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las secuencias estudiadas han sido tema de discusión en los últimos años. Su edad en muchas localidades ha sido determinada a través de datos paleontológicos, pero en varias localidades permanece aún sin establecerse dado la escasez de fósiles. En el presente estudio solo se ha podido constatar la semejanza litológica y la posición estratigráfica comparable de las secuencias estudiadas, sin embargo cabe destacar que la gran similitud en la procedencia, así como la gran semejanza de los patrones de tierras raras y de otros elementos, pueden ser considerados fuertes argumentos para la correlación de todas las muestras procedentes de las diferentes localidades.

El marco tectónico del depósito, esencialmente de las facies continentales presentes en Nuevo León y Tamaulipas, también ha sido un tema de discusión, ya que debido a la posición geográfica actual de los afloramientos, cercana al Golfo de México en la margen este de Norte América y alejada de la actual margen pacífica no se ha podido entender una posible conexión con el sistema Cordillerano, aunque para las facies marinas por su contenido faunístico, la conexión al paleo-pacífico si ha sido de manera general aceptada. En el presente estudio la procedencia y la geoquímica semejantes, constituyen argumentos en favor de una conexión directa de ambas facies, marina y continental, que las relacionan en forma conjunta a la margen paleo-pacífica de México.

La petrografía de las muestras de areniscas de las diferentes localidades estudiadas, tanto de la secuencia marina triásica como de la secuencia continental, refleja una procedencia de bloques continentales consolidados y en menor proporción de un orógeno retrabajado, en concordancia con el supuesto de su procedencia desde el bloque de Oaxaquia o bien Gondwana, antes de la apertura del Golfo de México y para ese entonces ya unida a Norteamérica a lo largo del cinturón Ouachita-Marathon,

La geoquímica aparte de ser usada como un criterio de correlación, permite la discriminación de ambientes geotectónicos de procedencia y/o de depósito. Los elementos de tierras raras normalizados a Condrito reflejan un enriquecimiento en las tierras raras

ligeras sobre las tierras raras pesadas y una anomalía negativa de Europio, apoyando una sedimentación en un margen pasivo. De igual forma estos valores normalizados a NASC muestran patrones muy planos, reflejando una procedencia de corteza continental antigua o de rocas sedimentarias recicladas. Las relaciones Al_2O_3/SiO_2 y K_2O/Na_2O y el contenido de Ti_2O son concordantes con el ambiente de margen pasivo. La relación Th/Sc y La/Sc sugieren una fuente de aporte félsica para estos sedimentos; así como la relación Zr/Sc , la cual nos indica que estas areniscas no han tenido mucho transporte.

Se recomienda para las áreas del noreste un análisis estratigráfico detallado de las unidades pre-Oxfordianas, las cuales hasta ahora han sido consideradas como una misma unidad.

Realizar estudios de geoquímica de isótopos para obtener edades y ver las relaciones $Sm-Nd$; así como utilizar métodos isotópicos ($U-Pb$ en circones detriticos) de la secuencia triásica en todas las localidades, para determinar o confirmar el ambiente tectónico de procedencia.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, A.E., Mackenzie, W.S., Guilford, C., 1991, Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Editorial Longman Scientific and Technical, 104p.

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., Yong Il Lee, Verma, S.P., Ramasamy, S., 2004, Geochemistry of sandstone from the upper Miocene Kudankulam Formation, Southern India: implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 74(2), 285–297.

Bacon, R. W., 1978, Geology of northern Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México (M. S. Thesis): Arlington, Universidad of Texas, 109 p.

Barboza-Gudiño, J.R., 2000, Estratigrafía y elementos paleogeográficos del Mesozoico temprano del noreste de México y sus implicaciones tectónicas. VII Congreso Nacional de Paleontología y I Simposio Geológico en el Noreste de México, Linares, Nuevo León. Libro de Resúmenes, 10–11.

Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., Tristán-González, M., 1998, The Late Triassic-Early Jurassic active continental margin of western North America in northeastern Mexico. *Geofísica Internacional*, 37(4), 283–292.

Barboza-Gudiño, J.R., Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., 1999, Tectonic setting of pre-Oxfordian units from central and northeastern Mexico: A review. *Geological Society of America, Special Paper 340*, 197–210.

Barboza-Gudiño, J.R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macias, P.R., 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(3), 299-319.

Bartolini, C., 1998, Stratigraphy, geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Mesozoic Nazas Formation, north-central México: El Paso, Texas, University of Texas, tesis doctoral, 558 p.

Bartolini, C., Lang, H., Stinnesbeck, W., 1999, Volcanic rock outcrops in Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, México: Remnants of the Permian-Early Triassic magmatic arc?, in Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), *Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, 340, 347-356.

Bartolini, C., Lang, H., Cantú-Chapa, A., Barbosa-Gudino, J.R., 2001, The triassic Zacatecas Formation in central Mexico: Paleotectonic, Paleogeographic and Paleobiogeographic implications, in C. Bartolini, R. T. Buffler and A. Cantú-Chapa, eds., *The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basin and petroleum systems*: AAPG Memoir 75, 295–315.

Belcher, R.C., 1979, Depositional environments, paleomagnetism and tectonic significance of Huizachal red beds (lower Mesozoic), northeastern Mexico (Ph. D. Thesis): Austin, University of Texas, 276 p.

Bhatia, M.R., 1983, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.* 91, 611-627.

Bhatia, M.R., Crook, K.A.W., 1986, Trace element characteristics of grawackes and tectonic discrimination of sedimentary basin: *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 181–193.

- Bhatia, M.R., 1985**, Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology*, 45, 97-113.
- Blatt, H., Middleton, G.V, Murray, R.C., 1980**, *Origin of Sedimentary Rocks*. 782 S. Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice-Hall).
- Bouma, A.H., 1962**, *Sedimentology of Some Flysch Deposits*: Amsterdam–New York, Elsevier. 167 p.
- Burchardt, C., 1930**, Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicain: Mémoire de la Société Paléontologique Suisse, 49, 1-123. 50, 123-280.
- Burckhardt, C., Scalia, S., 1905**, La faune marine du Trias Supérieur de Zacatecas: Instituto de Geología de México. Boletín 21, 44 p.
- Burckhardt, C., Scalia, S., 1906**, Géologie des environs de Zacatecas–Guide des excursions: Congreso Geológico Internacional, 10th, México, D.F., 16, 26 p.
- Cantú-Chapa, A., 1969**, Una nueva localidad del Triásico Superior marino en México: Instituto Mexicano del Petróleo. Revista, 1, 71-72.
- Carrillo-Bravo, J., 1961**, Geología del Anticlinorio Huizachal–Peregrina, al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geólogos Petroleros, 13(1-2), 1-98.
- Carrillo-Bravo, J., 1971**, La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 23, 1-102.
- Centeno-García, E., Silva-Romo, G., 1997**, Petrogenesis and tectonic evolution of central Mexico during Triassic-Jurassic time: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14(2), 244-260.

- Chávez-Aguirre, R., 1968,** Bosquejo geológico de la Sierra Peñón Blanco. Zacatecas: Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 67 p.
- Clark, J. M., Hopson, J. A., 1985,** Distinctive mamad-like reptile from México and its bearing on the phylogeny of the Tritonodontidae: *Nature*, 315, 398-400.
- Córdoba-Méndez, D.A., 1964,** Geology of Apizolaya quadrangle (east half), northern Zacatecas, México (M.A. Thesis): Austin, University of Texas, 111p.
- DeCserna, Z., 1956,** Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey. XX Congreso Geológico Internacional, México, 87p.
- Díaz-Salgado, C., 2004,** Caracterización tectónica y procedencia de La Formación Taray, Región de Pico de Teyra, estado de Zacatecas. Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 95p.
- Dickinson, W.R., and Suczek, C.A., 1979,** Plate tectonics and sandstone compositions: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63, 2164-2182. Tulsa, Oklahoma.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Grakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., Rybeerg, R.T., 1983,** Provenance of north American phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Bulletin geol. Soc. Amer.*, 94, 222-235. Boulder, Colorado.
- Fastovsky, D.E., Clark, J.M., Hopson, J.A., 1987,** Preliminary of a vertebrate fauna from an unusual paleoenvironmental setting. Huizachal Group, Early or Mid-Jurassic, Tamaulipas, México. in Curie, P.M. and Koster, E.H., eds., *Fourth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems, Short Papers: Occasional Paper of the Tyrel Museum of Paleontology*, 3, 82-87.

Franco-Rubio, M., 1994, Geología del Anticlinorio de Catorce, San Luis Potosí, México: Sociedad Geológica Mexicana, XII Convención Nacional, Toluca, libro de resúmenes 53-54.

Franco-Rubio, M., 1999, Geology of the basement below the decollement surface, Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México, in Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, 340, 211-227.

Füchtbauer, H., (editor), 1988, Sediment-Petrologie, Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine.- 2. Edición: 1141 p.; Stuttgart (Schweizerbart).

Gallo-Padilla, I., Gómez-Luna, M.E., Contreras y Montero, B., Cedillo-Pardo, E., 1993, Hallazgos paleontológicos del Triásico marino en la región central de México: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, 6, 1-9.

Gómez-Luna, M.E., Cedillo-Pardo, E., Contreras y Montero, B., Gallo-Padilla, I., Martínez-Cortés, A., 1997, El Triásico Marino en la Meseta Central de México: Implicaciones paleogeográficas: II Convención sobre la evolución geológica de México y recursos asociados (simposia y Coloquio): Instituto de Investigación en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 67-71.

Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A., Korotev, R.L., 1984, The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics, Geochim. Cosmochim. Acta 48, 2469-2482.

Gutiérrez-Amador, M., 1908, Las capas Cárnicas de Zacatecas. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 4, 29-35.

Hoppe, M., Barboza-Gudiño, J.R., Schulz, H.M., 2002, Late Triassic submarine fan deposits in northwestern San Luis Potosí, México—lithology, facies and diagenesis. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 2002: 705-724; Stuttgart.

Howell, D.G., Normark, W.R., 1982, Sedimentology of Submarine Fans, in Scholle P. A. and Darwin S. (eds.): Sandstone- Depositional Environments- U.S. Geological Survey: Menlo Park, California. AAPG Memoir 31, 365-404.

Imlay, R.W., 1952, Correlations of the Jurassic formations of North America, Exclusive of Canada: Geological Society of America Bulletin, 63, 953-992.

Imlay, R.W., Cepeda, E., Alvarez, M., Diaz, T., 1948, Stratigraphic relation of certain Jurassic formations in eastern México; American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 32(9), 1961-1970.

Johnson M.J., 1993, The system controlling the composition of clastic sediments, en Mark J. Johnsson and Abhijit Basu, Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments: Geological Society of America Special Paper 284 ISBN 0- 8137-2284-5, 342 p.

Jones, N.W., J.W. Mc Kee, T.H. Anderson and L.T., Silver, 1995, Jurassic volcanic rocks in northeastern Mexico: A possible remnant of a Cordilleran magmatic arc, in C. Jacques-Ayala, C. González-León, and J. Roldán-Quintana, eds., Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas: Geological Society of America Special Paper 301, 179-190.

Lugo-Hubp, J., 1990, El relieve de la República Mexicana, Universidad Autónoma de México. Revista del Instituto de geología, 9(1), 82-111.

Martinez-Pérez, J., 1972, Exploración geológica del área El Estribo-San Francisco, San Luis Potosí (Hojas K-8 y K-9), Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros., 24(7-9), 327-402.

Maurice E. Tucker, 1982, *Sedimentary Rocks in the Field.*

McGehee, R.V., 1976, Las rocas metamórficas del Arroyo La Pimienta, Zacatecas, Zacatecas: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 37, 1-10.

McLennan, S.M., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes, *in* Lipin, B.R., McKay, G.A. (eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*; Washington, DC., *Reviews in Mineralogy*, 21, 169-200.

McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993, Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics, *in* Mark J. Johnsson and Abhijit Basu, *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*; Geological Society of America, Special Paper, 284 ISBN 0- 8137-2284-5, 342 p.

Meiburg, P., J.R., Chapa-Guerrero, I., Grotehusmann, T. Kustusch, P. Lentzy, H DeLeón-Gómez, M.A. Mansilla-Terán., 1987, El basamento pre-Cretácico de Arramberri-estructura clave para comprender el decollement de la cubierta Jurásica-Cretácica de la Sierra Madre Oriental, México; *Actas, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León*, 2, 15-20.

Michalzik, D., 1988, Trias bis unter-Kreide der nordostlichen Sierra Madre Oriental, México-Fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrandes: (Ph. D. Dissertation), T.H. Darmstadt, Germany, 247 p.

Michalzik, D., 1991, Facies sequence of Triassic- Jurassic red beds in the Sierra Madre Oriental (NE Mexico) and its relation to the early opening of the Gulf of Mexico, *Sedimentary Geology*, 71, 243-259.

Mixon, R.B., 1958, The Jurassic Formations of the Ciudad Victoria Region Tamaulipas Mex. M.C. Thesis, Luisiana State Univ. 70 p.

Mixon, R.B., 1963, Geology of the Huizachal Redbeds, Sierra Madre Oriental, México (Ph. D. Thesis): Baton Rouge, Louisiana State University, 97 p.

Mixon, R.B., G.E. Murria, T.E. Diaz, 1959, Age and correlation of Huizachal group (Mesozoic), state of Tamaulipas, Mexico: AAPG Bulletin, 43, 757-771.

Monod, O., Calvet P.H., 1992, Structural and stratigraphic reinterpretation of the Triassic units near Zacatecas (Zacatecas) central Mexico; Evidence of a Laramide nappe pair, *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Teil I, H. 6, 1533-1544.

Montellano-Ballesteros, M., Hernández-Rivera, R., Clark, J.M., Fastovsky, D.E., Reynoso-Rosales, V.H., Strater, N.H., Hopson, J.A., 1995, Avances en el estudio de la fauna de vertebrados Jurásicos del Cañón del Huizachal, Tamaulipas, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 52(3-4), 11-20.

Mutti, E., Ricci-Lucchi, F., 1972, Le torbiditi dell 'apennino settentrionale : introduzione all 'analisi di facies, *Memoir Society Geology Italy* 11, 161-199 (1978, English traslation in *International Geology Review*, 20, 125-166).

Pantoja-Alor, J., 1972, La Formación Nazas del levantamiento de Villa de Juárez, Estado de Durango (resumen), México, Segunda Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, 25-31.

Peter A. Scholle, Darwin Spring, 1998, Sandstone Depositional Environments.

Peter A. Scholle, 1979, A color illustrated Guide to Constituents, Texturas, Cements and porosities of Sandstones and Associated Rocks. AAPG Memoir 28.

Pettijohn, F.J., P.E. Potter, 1964, Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures, Springer-Verlag, New York.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1973, Sand and Sandstone: Springer – Verlag, New York – Heidelberg – Berlin, 618 p.

Potter, P.E., 1978, Petrology and chemistry of modern big river sands. *J. Geol.* 86, 423-449.

Prothero, D.R., Schwab, F., 2004, Sedimentary Geology: an introduction to sedimentary rocks and stratigraphy; Clastic Marine and Pelagic Environments. Occidental College – Washington & Lee University, (ed.) Freeman., 183-193.

Rogers, C.L., Z. DeCerna, E. Tavera, S. Ulloa, 1957, Geología general y Depósitos de Fosfatos del distrito de Concepción del Oro, Estado de Zacatecas: Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, Boletín 38, 129 p.

Rogers, C.L., Z. DeCerna, R. Van Vloten, E. Tavera y J. Ojeda, 1961, Reconocimiento Geológico y Depósitos de Fosfatos del norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí: Consejo de recursos naturales No Renovables, Boletín 56, 322 p.

Rollinson, H.R., 1993, Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Ed. Longman Group U.K. Limited, 352p.

Roser, B.P., Korsch R.J., 1986, Determination of tectonic setting of sandstone – mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *The Journal of Geology*, 94, 635 – 645.

Rueda-Gaxiola, J., López-Ocampo, E., Dueñas, M.A., Rodríguez, J.L., 1993 a, Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: dos partes de la fosa de huayacocotla-El Alamar. I. El alogrupo los San Pedros: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 53, 1-33.

Rueda-Gaxiola, J., López-Ocampo, E., Dueñas, M.A., and Rodríguez, J.L., Minero, M., Uribe, G., 1993 b, Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: dos partes de la fosa de huayacocotla-El Alamar. II. Bioestratigrafía, cronoestratigrafía y paleoecología del Alogrupo Los San Pedros. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 53, 1-29.

Rueda-Gaxiola, J., López-Ocampo, E., Dueñas, M., Rodríguez-Benitez., J., 1991, Las fosas de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla, dos partes de un graben relacionado con el origen del Golfo de México: in Rubínovich-Kogan, R. Y A. L. Carreño, eds., *Memorias sobre la Evolución Geológica de México*, Pachuca, Hidalgo, Junio 23-28, 189-192.

Schmidt-Effing, R., 1980, The Huayacocotla aulacogen in Mexico (Lower Jurassic) and the origin of the Gulf of Mexico, in Pilger, R. H., Jr., ed., *The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of the central north Atlantic Ocean*: Baton Rouge, Louisiana State University, 78-86.

Seemes, D.R., 1921, Cretaceous Section exposed at El Huizachal Central Tamaulipas. Informe Geológico. PEMEX (Inédito).

Silva-Romo, G., 1993, Estudio de la Estratigrafía y Estructuras Tectónicas de la Sierra de Salinas, Estados de San Luis Potosí y Zacatecas: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, División de Estudios de Postgrado, Tesis de Maestría, 139 p.

Silva-Romo, G., Arellano-Gil, J., Mendoza-Rosales, C., Nieto-Obregón, J., 2000, A submarine fan in the Mesa Central, Mexico, *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 429-442.

Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985, *The continental crust: Its composition and evolution*: Blackwell, Oxford, 312 p.

Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., 1992, Cartografía Geológica 1: 50 000 de la Hoja Charcas. Estado de San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología. Folleto Técnico No. 115, 94 p.

Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., 1994, Geología de la Sierra de Charcas. Estado de San Luis potosí, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 11(2), 117-138.

Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., Mata-Segura, J.I., 1995, Geología de la Hoja Presa de Santa Gertrudis. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología. Folleto Técnico No. 122, 50 p.

Weber, R., 1997, How old is the Triassic flora of Sonora and Tamaulipas? and news on Leonardian floras in Puebla and Hidalgo, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de geología, 14(2), 225-243.

ANEXOS

ANEXO 1.

DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS.

LOCALIDAD DEL CAÑÓN DEL ALAMAR

MUESTRA CAL 1.1.1

DESCRIPCIÓN DE CAMPO.

Bancos de arenisca de color gris claro y de color amarillo ocre a gris verdoso en superficie intemperizada, de tamaño de grano grueso, la cual pasa en forma gradual hacia arriba a una arenisca de grano medio a fino, con fragmentos de cuarzo y mica blanca. Dentro de estos bancos de arenisca se encuentran unos conglomerados con fragmentos hasta de 2cm de diámetro, de formas redondeadas a subredondeadas, con buena esfericidad, en una matriz arenosa. Los fragmentos son de cuarzo blanco lechoso, pedernal y de posibles cuarcitas. Estos conglomerados aparentemente ocurren en forma de lentes y se alcanza a observar una fina laminación.

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO

Roca de color gris claro a gris verdoso, de estructura compacta, de dureza mayor a la de la navaja, de textura summitica, constituida por fragmentos de tamaño de la arena gruesa a la arena fina, los cuales son principalmente de cuarzo, además se observan fragmentos de mica blanca y fragmentos de color verde olivo, de 1mm de tamaño, de forma subredondeada, probablemente fragmentos de otras rocas. También contiene fragmentos de color negro, de formas alargadas, de probables minerales ferromagnesianos y escasos óxidos de fierro distribuidos de forma irregular en toda la roca.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica constituida por fragmentos de formas subangulosas a redondeadas, de tamaño que varia desde la arena muy fina hasta la arena gruesa, predominando los fragmentos con tamaño de la arena media, de baja esfericidad, presenta una clasificación moderada, no

presenta porosidad intergranular. El cementante es de precipitación química y clástico, el primero esta constituido por sílice microcristalina a criptocristalina y el segundo por minerales de la arcilla.

Mineralogía:

La roca esta formada por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos y sódico – cálcicos, fragmentos de rocas, fragmentos de minerales máficos, minerales metálicos, arcillas, micas y cuarzo microcristalino y sílice criptocristalina.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño que varia desde la arena muy fina hasta la arena gruesa, de formas subangulosas a redondeadas, observándose en su mayoría limpios en su superficie, mostrando solamente algunos granos extinción ondulante y otros lamelas (estrias) de deformación. El contenido mineralógico aproximado del cuarzo es de 45% del total de la roca.

Además se observan fragmentos de cuarzo policristalino de formas subredondeadas, de tamaño de la arena media, probablemente sean de origen metamórfico. El porcentaje es de aproximadamente 3% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son de tamaño de la arena media a la arena gruesa y en su mayoría se observan totalmente alterados hacia sericita. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 8% del total de la roca.

Los feldespatos sódicos –cálcicos son escasos y se trata de fragmentos de plagioclasa de tamaño de la arena fina a la arena media, con maclas de la albita y tienen alteración moderada hacia minerales de la arcilla y hacia sericita, algunos de los fragmentos están corroídos de sus extremos. El porcentaje aproximado de las plagioclasas es de 3% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de formas subangulosas a subredondeadas; se identificaron como fragmentos de rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas.

Los fragmentos de rocas metamórficas son de rocas de metamorfismo bajo y alto (pizarras, filitas micáceas y esquistos), encontrándose en un porcentaje aproximado de 15% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de limolitas y pedernal, aproximadamente en 8% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas volcánicas son de rocas microcristalinas con abundantes cristales de probables plagioclasas. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

Fragmentos detriticos de micas deformadas y fragmentos de minerales máficos que presentan un tenue crucero típico de los piroxenos. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

Ocurren dos zonas alineadas entre si y paralelas a la estratificación de la roca, las cuales están constituidas por abundantes minerales metálicos totalmente oxidados, además de encontrarse, estos minerales distribuidos en toda la roca. El porcentaje aproximado es de 5% del total de la roca.

El cementante esta formado por minerales de la arcilla alterados hacia sericita y hacia algo de clorita, además contiene sílice micro a criptocristalino y pequeños óxidos de fierro, ocupando aproximadamente 7% del total de la roca.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arenisca fesdepática, según Heinrich (1972).

MUESTRA CAL 1.1.4

DESCRIPCIÓN DE CAMPO.

Arenisca de grano fino a limolita de color gris verdoso con esporádicos fragmentos bien redondeados, de color gris verdoso, de cuarcitas y lutitas. No se observa ninguna estructura primaria interna y la estratificación es muy mala, solo se observa una foliación o clivaje pizarroso muy irregular.

DESCRIPCIÓN MUESTRA DE MANO.

Roca de color gris claro a verde oscuro, de estructura compacta, de dureza menor que la de la navaja, de grano muy fino, con escasos fragmentos de color negro, de forma alargada, los cuales probablemente sean minerales ferromagnesianos.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca constituida por fragmentos de tamaño que varia desde limo a la arena muy fina, de formas subangulosas a subredondeadas, con baja a moderada esfericidad, bien clasificada. No se observan poros intergranulares y esta cementada por minerales de la arcilla.

Mineralogía:

La roca esta formada por fragmentos de cuarzo, feldespato, minerales de la arcilla, mica y minerales metálicos.

El cuarzo está presente en fragmentos de tamaño del limo a la arena fina, de formas subangulosas a subredondeadas y se observan limpios en su superficie. El porcentaje aproximado del cuarzo es de 75% del total de la roca.

Escasos fragmentos de feldespato de tamaño parecido a los del cuarzo, con alteración moderada hacia minerales de la arcilla y hacia sericita. Aproximadamente 5% del total de la roca. Fragmentos detriticos de micas (moscovita – sericita) orientados de forma subparalela, mostrando una tenue esquistosidad. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 5% del total de la roca.

También contiene fragmentos de minerales máficos de forma alargada, totalmente oxidados y minerales metálicos distribuidos irregularmente en la roca. Estos fragmentos ocupan aproximadamente 3% del total de la roca.

El cementante esta constituido por minerales de la arcilla con alteración moderada hacia sericita y hacia algo de clorita, mostrando un tenue alineamiento preferencial, de forma subparalela a los fragmentos de minerales micaceos, los cuales ocupan aproximadamente el 12% del total de la roca.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arenisca de grano fino, según Heinrich (1972).

MUESTRA CAL 1.2.3

DESCRIPCIÓN DE CAMPO:

Alternancia de capas de limolita de color café rojizo en superficie intemperizada, intercaladas con capas de arenisca de color gris claro a gris verdoso, de grano medio a grueso, con fragmentos aislados principalmente de cuarzo, de tamaños de 1 a 2 cm de diámetro. Las limolitas presentan una foliación muy irregular y un intenso fracturamiento y

en las areniscas se observa una fina laminación recta, en el orden de 0.5 a 1 cm de espesor paralela a la estratificación.

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE CAMPO.

Roca de color gris claro a verdoso, de estructura laminar, con láminas de 1 a 3 cm de espesor, constituida por fragmentos de tamaños de la arena media a la arena gruesa, de formas subangulosas a subredondeadas. Los granos son principalmente de cuarzo, también contiene fragmentos de feldespato de color rosáceo (ortoclasa?). Se observan minerales ferromagnesianos de forma alargada moderada a fuertemente oxidados y alterados a posible clorita. Además contiene fragmentos de color rojizo de probablemente otras rocas. La matriz es de grano fino.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica con fragmentos de tamaño que varía desde la arena muy fina (0.09, 0.10 mm) hasta la arena muy gruesa (1.35, 1.60 mm), pobremente clasificada, los fragmentos son de formas angulosas a subredondeadas, con baja esfericidad, no contiene porosidad intergranular primaria, pero si presenta porosidad secundaria, con baja permeabilidad. El cementante es de precipitación química (cuarzo) y clástico (minerales de la arcilla y sericita).

Mineralogía:

La roca esta constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos y sódico – cálcicos, fragmentos de roca, fragmentos de minerales máficos y en menor cantidad por arcillas y carbonatos.

Los fragmentos de cuarzo son de formas angulosas a subredondeadas, variando de tamaño de grano desde la arena muy fina hasta la arena gruesa, observándose sanos en superficie todos los fragmentos. El contenido mineralógico del cuarzo esta en aproximadamente 35% del total de la roca.

También se observan fragmentos de cuarzo policristalino de origen metamórfico e ígneo, predominando los primeros. Estos fragmentos son de tamaño de la arena media a la arena

gruesa, de formas subangulosas a subredondeadas, encontrándose aproximadamente en un 10% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldspatos alcalinos son de formas angulosas a subangulosas, de tamaño de la arena fina a la arena media. La mayoría de los fragmentos están totalmente alterados hacia minerales de la arcilla y hacia sericita, aunque algunos fragmento solo presenta una alteración moderada hacia sericita y un ligero reemplazamiento por carbonatos (carbonatación). Se pudieron identificar algunos fragmentos como sanidino y ortoclasa. El contenido mineralógico aproximado de los feldspatos alcalinos es de 10% del total de la roca.

Los feldspatos sódico – cálcicos al igual que los feldspatos alcalinos son de tamaño de la arena fina a la arena media y se trata de fragmentos de plagioclasas con maclas de la albita y combinada albita-carlsbad, observándose en su mayoría sanos en superficie, pero algunos tienen alteración moderada hacia sericita y un ligero reemplazamiento por carbonatos. Los fragmentos de plagioclasa se identificaron como oligoclasa y andesina, estando aproximadamente en un 15% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas, con tamaños que varían de la arena gruesa a la arena muy gruesa. Se identificaron como fragmentos de rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de areniscas y lutitas, estando aproximadamente en un 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas metamórficas están formados por material muy fino con una recristalización moderada y hojuelas de micas que muestran un alineamiento preferencial (pizarras), encontrándose también fragmentos de esquistos y de cuarcitas. El contenido aproximado de los fragmentos de rocas metamórficas es de 8% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas volcánicas son principalmente de rocas de composición básica y están formados por abundantes plagioclasas y minerales máficos alterados hacia clorita. El contenido aproximado de estos fragmentos es del 4% del total de la roca.

También contiene minerales máficos, de formas subangulosas, de tamaño de la arena fina a la arena media. Estos fragmentos están totalmente alterados a óxidos de hierro y a clorita, además contiene hojuelas detríticas de micas (muscovita) y hojuelas de clorita distribuidas

irregularmente entre los granos. El contenido mineralógico de estos fragmentos es de aproximadamente 8% del total de la roca.

En general los fragmentos están asociados todos entre sí, mostrando una textura "Grain supported", con poco cementante, el cual está constituido por cuarzo microcristalino y minerales de la arcilla que han sufrido alteración hacia sericita, además de carbonatos, los cuales se encuentran relleno de huecos intergranulares y reemplazando algunos de los constituyentes de la roca. El contenido aproximado del cementante es de 5% del total de la roca.

Clasificación.

Roca sedimentaria clástica de composición heterogénea: Arcosa, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL ÁREA DE SAN MARCOS

MUESTRA SMP 2.1

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca de color gris claro a verdoso, de estructura compacta, de dureza mayor que la de la navaja. Constituida por fragmentos de tamaño de la arena media a la arena gruesa y algunos de tamaño de los pebbles, son de formas subangulosas a subredondeadas. Los fragmentos son de cuarzo, cuarzo lechoso, contiene abundantes fragmentos líticos de otras rocas de composición limática, escasos fragmentos de feldespatos (probablemente sanidino) y fragmentos de color verde oscuro de tamaño de la arena fina, de probables minerales ferromagnesianos, algunos están totalmente oxidados. La matriz es de grano fino. Contiene dos fracturas rellenas de carbonato.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica constituida por fragmentos de tamaño que varía desde la arena muy fina hasta la arena gruesa, predominando los fragmentos de tamaño de la arena media, son de formas angulosas a redondeadas, con moderada a baja esfericidad, presentando una clasificación moderada, no se observan poros intergranulares. La roca en general está soportada grano a

grano, teniendo como cementante minerales de la arcilla, mostrando una textura submadura a madura.

Mineralogía:

La roca contiene fragmentos de cuarzo, de feldespatos tanto alcalinos como sodico-cálcicos y fragmentos de rocas.

Los fragmentos de cuarzo son de formas angulosas a subredondeadas, de tamaño que va desde la arena muy fina a la arena media, observándose en su mayoría limpios en su superficie, solo algunos granos presentan extinción ondulante. El contenido mineralógico de estos fragmentos es de aproximadamente 40% del total de la roca.

También contiene fragmentos de cuarzo policristalino de probable origen metamórfico, de formas subangulosas a subredondeadas, de tamaño de la arena media a la arena gruesa. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 5% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son del tamaño de la arena media, de formas subangulosas, presentado alteración moderada hacia minerales de la arcilla y hacia algo de sericita, mostrando un ligero a moderado reemplazamiento por carbonatos (carbonatación), algunos fragmentos se observan totalmente alterados hacia sericita y otros están fracturados conteniendo óxidos de fierro que penetraron en las fracturas. El porcentaje aproximado de los feldespatos es de 15% del total de la roca.

Los feldespatos sodico-cálcicos son fragmentos de tamaño de la arena fina a la arena media y muestran la macla de la albita y la combinada albita-carlsbad. En su mayoría muestran alteración débil hacia minerales de la arcilla y un ligero reemplazamiento por carbonatos, estando algunos fragmentos totalmente reemplazados por carbonatos (carbonatación). El contenido mineralógico de estos fragmentos es de aproximadamente 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de formas subangulosas a redondeadas y se identificaron como fragmentos de rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de areniscas y limolitas, estando en aproximadamente 5% del total de la roca.

Los fragmentos de las rocas volcánicas se observan muy alterados, lo que dificulta su precisa identificación, pero contienen gran cantidad de cristales de plagioclasa, lo que nos indica que probablemente se trate de rocas intermedias a básicas. Estos fragmentos son escasos, ocupando 3% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas metamórficas son de metamorfismo de bajo grado (pizarras, filitas) y otros fragmentos son de metamorfismo de alto grado (esquistos y cuarcitas). El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 20% del total de la roca.

Contiene además pequeñas hojuelas de micas (moscovita) distribuidas irregularmente entre los granos (1%).

También se observan escasos fragmentos de minerales máficos totalmente oxidados y minerales metálicos dispersos entre los granos (2%).

El cementante está constituido por minerales de la arcilla que han sufrido alteración moderada a alta hacia sericita y hacia clorita, además de tener escasos carbonatos.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica: Arcosa, según Heinrich (1972).

MUESTRA SMP 2.4

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica que contiene fragmentos de tamaño que varía entre la arena media a la arena gruesa, de formas angulosas a subangulosas, con baja esfericidad, muy bien clasificada. Los fragmentos están cementados por minerales de la arcilla, los cuales son en algunas partes de la roca son escasos, encontrándose los granos en contacto entre sí. La roca presenta una textura inmadura.

Mineralogía:

La muestra está constituida por fragmentos de cuarzo, feldespato tanto alcalinos como sódico – cálcicos, por fragmentos de rocas, micas y minerales de la arcilla.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de forma angulosa a subangulosa, en su mayoría se observan limpios en su superficie, pero algunos granos muestran lamelas (estrias) de deformación y otros muestran vacuolas

dispuestas en líneas a lo largo del fragmento, lo que nos indica que probablemente estos granos provengan de una fuente de baja temperatura. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 40% del total de la roca.

Se observan fragmentos de tamaño de la arena gruesa de probablemente cuarzo policristalino de origen ígneo y metamórfico. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son de tamaño de la arena media y están moderada a fuertemente alterados hacia sericita y sustituidos por clorita, la cual penetra en las zonas de debilidad de los granos. El contenido aproximado de los feldespatos es de 15% del total de la roca.

Los feldespatos del tipo sódico – cálcicos son fragmentos de tamaño de la arena media con alteración moderada hacia sericita, identificándose algunos fragmentos de composición andesina y oligoclasa. El contenido aproximado de las plagioclasas es de 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de tamaño de la arena gruesa, de forma subangulosa y son de rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas, algunos de estos fragmentos se observan muy alterados a clorita.

Los fragmentos de rocas metamórficas son de metamorfismo de muy bajo grado, observándose en los fragmentos una textura pizarrosa (pizarras y filitas micáceas) y de metamorfismo de alto grado (esquistos y cuarcitas). Encontrándose aproximadamente en un 8% del total de la roca.

Los fragmentos de las rocas sedimentarias son de limolitas y pedernal, ocupando aproximadamente 10% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas volcánicas están muy alterados, en algunos fragmentos se alcanzan a distinguir cristales de feldespato y minerales ferromagnesianos, probablemente provengan de una fuente ácida. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 2% del total de la roca.

Contiene además fragmentos detríticos de micas, probablemente moscovita, encontrándose en un 2% del total de la roca.

Escasos minerales ferromagnesianos de tamaño de la arena fina, totalmente alterados a clorita, pero se alcanza a distinguir un tenue cruceo característico de los anfíboles. Otros

fragmentos presentan altos colores de interferencia y un cruceo típico de los piroxenos. Estos granos representan el 3% del total de la roca.

También se observan minerales metálicos diseminados, algunos de ellos están totalmente oxidados. Estos minerales ocupan 1% del total de la roca.

Todos estos fragmentos están cementados por minerales de la arcilla alterados hacia clorita y hacia sericita.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica: Arcosa, según Heinrich (1972).

MUESTRA SMP 2.6b

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color café rojizo, de estructura laminar, con láminas de >1 a 4 mm de espesor, de dureza menor que la de la navaja, de textura sammitica. Esta constituida por fragmentos de tamaño de la arena fina, principalmente de cuarzo y mica blanca, se observan fragmentos de color verde oscuro de probables minerales ferromagnesianos. La matriz es de grano muy fino.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica constituida por fragmentos de tamaño de la arena fina, de formas subangulosas a subredondeadas, con baja a moderada esfericidad, bien clasificada, presenta baja porosidad y baja permeabilidad. El cementante esta constituido por minerales de la arcilla y por carbonatos.

Mineralogía:

La roca esta constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos y sódico-cálcicos, por fragmentos de rocas, micas, minerales de la arcilla, carbonatos y minerales metálicos.

El cuarzo esta presente en fragmentos de tamaño de la arena fina, de formas subangulosas a subredondeadas, observándose la mayoría limpios en su superficie, mostrando solo algunos granos tenues líneas subparalelas, mostrando una "Textura Lamelar" y otros granos

presentan extinción ondulante. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 40% del total de la roca.

También se observan escasos fragmentos de cuarzo policristalino de probable origen metamórfico, estos fragmentos ocupan aproximadamente un 2% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son de tamaño de la arena fina y están moderada a fuertemente alterados hacia sericita, algunos están fracturados, conteniendo dichas fracturas óxidos de fierro y algunos granos muestran una débil carbonatación. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 15% del total de la roca.

Los fragmentos de plagioclasa al igual que los feldespatos alcalinos presentan alteración moderada hacia sericita y muestran la macla de la albita. Es difícil su identificación dado el grado de alteración, lográndose identificar algunos fragmentos como oligoclasa. El porcentaje aproximado es de 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas, de tamaño de la arena fina y son de rocas metamórficas y de rocas sedimentarias.

Los fragmentos correspondientes a rocas metamórficas son de pizarras, filitas, filitas micáceas y quizás hasta esquistosas, observándose dichos fragmentos deformados. El porcentaje es de aproximadamente 15% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias se identificaron como rocas limáticas y como lutitas, estas últimas muestran una ligera recristalización. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 5% del total de la roca.

También contiene pequeñas hojuelas detríticas deformadas de micas, las cuales se encuentran distribuidas entre los demás granos, estos fragmentos son de moscovitas y cloritas. El porcentaje aproximado es de 3% del total de la roca.

Estos fragmentos están cementados por minerales de la arcilla que han sufrido alteración moderada hacia sericita y hacia algo de clorita, además contiene carbonatos, los cuales se encuentran rellenando espacios entre los granos y reemplazando algunos de los fragmentos. También se observan minerales metálicos, los cuales rellenan espacios irregulares entre los granos y están en su mayoría totalmente oxidados. El contenido mineralógico de estos constituyentes es de aproximadamente 15% de total de la roca.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arcosa, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL CAÑÓN DE LA BOCA

MUESTRA LBP 2

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica constituida por fragmentos de tamaño de la arena fina a la arena media, de formas subangulosas a redondeadas, con baja a moderada esfericidad, bien clasificada, cementada por minerales clásticos (arcilla) y de precipitación (carbonatos).

Mineralogía:

La roca esta formada por fragmentos de cuarzo, de feldespato tanto alcalino como sódico – cálcicos, por fragmentos de rocas, minerales arcillosos, minerales metálicos, sericita y carbonatos.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño de la arena fina a la arena media, de formas subangulosas a redondeadas, presentando algunos granos extinción ondulante y otros muestran tenues líneas subparalelas de deformación (estriás), además algunos granos están fracturados, conteniendo sericita en dichas fracturas. El contenido mineralógico del cuarzo esta entre 50-55% del total de la roca.

También contiene fragmentos de tamaño de la arena fina a la arena media, de formas subangulosas a subredondeadas de cuarzo policristalino de probable origen metamórfico. El porcentaje aproximado es de 3% del total de la roca.

Los fragmentos de feldespato alcalino son del tamaño de la arena media y están moderada a fuertemente alterados hacia sericita, algunos de los fragmentos están reemplazados por carbonatos (carbonatación) y otros por clorita. El contenido de estos fragmentos varia entre 10-13% del total de la roca.

Los fragmentos de las plagioclasas son del tamaño de la arena fina, con maclas de la albita y presentan alteración moderada hacia sericita, algunos fragmentos se observan fracturados. El porcentaje aproximado es de 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas a redondeadas, de tamaño de la arena fina a la arena media y se identificaron como rocas sedimentarias y metamórficas.

Las rocas sedimentarias son muy probablemente areniscas y rocas pelíticas, mostrando estas últimas un débil metamorfismo. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 10% del total de la roca.

Los fragmentos de las rocas metamórficas son de esquistos y de probables cuarcitas. El porcentaje aproximado es de 3% del total de la roca.

Se observa una zona con abundantes minerales metálicos alineados, débilmente oxidados y además algunos se encuentran diseminados. Aproximadamente 5% del total de la roca.

El cementante está constituido principalmente por minerales de la arcilla moderada a fuertemente alterados hacia sericita, y en menor cantidad por carbonatos, los cuales también se encuentran reemplazando algunos de los constituyentes de la roca.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arenisca feldespática, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL CAÑÓN DE PEREGRINA

MUESTRA CP

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris claro, de estructura laminar, con láminas de 4 mm a 2 cm de espesor, de dureza menor que la de la navaja. Las capas están constituidas por material del tamaño del limo, pasando gradualmente hacia una arenisca de grano fino, con fragmentos de cuarzo y fragmentos de color negro, de forma alargada, de probables minerales ferromagnesianos, además de contener escasos fragmentos líticos de color negro, de formas subredondeadas, probablemente de otras rocas y abundantes huecos rellenos de óxidos de hierro.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica que contiene fragmentos de tamaño que varía desde el tamaño del limo a la arena gruesa, predominando los granos de tamaño de la arena media, de formas angulosas a

redondeadas, con baja a moderada esfericidad, moderadamente clasificada, con baja porosidad intergranular. El cementante es de composición elástica (arcillas-sericita-clorita). Los fragmentos se encuentran orientados en capas.

Mineralogía:

La roca está formada por fragmentos de cuarzo y por fragmentos de rocas, además de contener arcillas, minerales máficos, minerales metálicos y micas.

Los fragmentos de cuarzo son de tamaño de la arena fina hasta la arena gruesa, de formas angulosas a redondeadas, observándose en su mayoría limpios en su superficie, algunos presentan extinción ondulante. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 45% del total de la roca.

Se observan fragmentos de cuarzo policristalino de formas angulosas, de tamaño de la arena media. Estos fragmentos son probablemente de origen metamórfico y ocupan el 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas angulosas a subredondeadas, de tamaño de la arena media a la arena gruesa y son de rocas metamórficas y de rocas sedimentarias.

Los fragmentos de rocas metamórficas son de metamorfismo de bajo grado (pizarras, filitas) y otros granos de metamorfismo de alto grado (esquistos y cuarcitas), encontrándose estos fragmentos en aproximadamente 20% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de areniscas, rocas limáticas y de pedernal, encontrándose en aproximadamente 15% del total de la roca.

Contiene escasos fragmentos de tamaño de la arena fina de minerales ferromagnesianos muy oxidados, pero que se les alcanza a distinguir un tenue cruceo de 90° típico de piroxenos. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

Pequeños fragmentos detríticos de minerales micáceos (sericita-moscovita), alineados de forma paralela a la estratificación de la roca. Aproximadamente 2% del total de la roca.

Ocurre una zona con abundantes minerales metálicos totalmente oxidados, separando a dos estratos. Aproximadamente 3% del total de la roca.

El cementante está formado por minerales de la arcilla parcialmente alterados hacia sericita y hacia algo de clorita. Además contiene óxidos de hierro rellenando la separación de las capas, así como alrededor de algunos fragmentos y rellenando espacios porosos.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica de composición heterogénea; Arenisca, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL CAÑÓN DEL NOVILLO

MUESTRA CN 2-1

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris claro en superficie fresca y de color café rojizo en superficie alterada, de estructura compacta, de dureza mayor que la de la navaja, de textura sammitica, constituida por fragmentos del tamaño de la arena fina, los cuales son principalmente de cuarzo, con abundantes hojuelas alargadas de mica blanca y fragmentos de color negro, de forma alargada de probables minerales ferromagnesianos, además contiene huecos y pequeñas fracturas rellenas de óxidos de hierro.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca con fragmentos de tamaños que varían desde la arena muy fina a la arena media, son de formas angulosas a redondeadas, de baja a moderada esfericidad, presenta una clasificación moderada, con baja a moderada porosidad intergranular. El cementante es elástico y de precipitación química, el primero esta constituido por arcilla – sericita y el segundo por sílice micro a criptocristalino.

Mineralogía:

La roca esta formada por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos, fragmentos de rocas y sericita,

El cuarzo esta presenta en fragmentos de forma angulosa a redondeada, de tamaño de la arena muy fina a la arena media, observándose en su mayoría limpios en su superficie, algunos granos presentan disolución en sus extremos. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 45% del total de la roca.

También contiene fragmentos de cuarzo policristalino, de formas subredondeadas, del tamaño de la arena fina, los cuales son probablemente de origen metamórfico. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 5% del total de la roca.

Contiene fragmentos de tamaño de la arena fina, fuertemente alterados hacia sericita, que por su forma externa pueden ser de feldespatos. El contenido aproximado es de 3% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de tamaño de la arena media, de formas subangulosas y son principalmente de rocas metamórficas de bajo y medio grado de metamorfismo y de rocas sedimentarias en menor proporción.

Los fragmentos de las rocas metamórficas se identificaron como filitas, esquistos y cuarcitas, el contenido aproximado de estos fragmentos es de 15% del total de la roca.

Los fragmentos de las rocas sedimentarias son esencialmente de pedernal, encontrándose algunos fragmentos de grano muy fino, probablemente de lutitas. El porcentaje aproximado es de 7% del total de la roca.

Además contiene fragmentos detríticos de hojuelas de micas (moscovita y sericita), las cuales se encuentran en pequeñas superficies que definen una esquistosidad. Aproximadamente 4% del total de la roca.

Contiene escasos minerales máficos y óxidos de fierro diseminados, de tamaño de la arena muy fina (1%).

El cementante está constituido por minerales de la arcilla que están alterados hacia sericita, y en menor proporción por sílice micro a criptocristalino.

En general los fragmentos muestran un ligero alineamiento con el cementante, probablemente como producto de la compactación.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Subgrauwaca, según Heinrich (1972).

MUESTRA CN 2-2

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca de color gris claro a café rojizo, compacta, de dureza menor que la de la navaja, de textura samítica - selítica, con fragmentos de cuarzo de formas subredondeadas, de tamaño de grano medio a grueso y fragmentos de color gris claro a verde olivo, de textura pelítica.

los cuales varían de tamaño desde 3mm hasta 4cm de largo, en una matriz de grano fino. Además se observan impresiones muy mal preservadas de estructuras laminares, probablemente de plantas.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca constituida por fragmentos de tamaño que varía desde la arena fina hasta algunos granos de tamaño de los granulos, son de formas subangulosas a redondeadas, con baja a moderada esfericidad, mal clasificada, con baja porosidad intergranular. El cementante es tanto de precipitación química como elástico.

Mineralogía:

La roca esta compuesta por fragmentos de cuarzo, fragmentos de rocas, óxidos de fierro, carbonatos, sericita y minerales metálicos.

El cuarzo se presenta en fragmentos de formas subangulosas a redondeadas, del tamaño de la arena fina a la arena gruesa, predominando los granos de tamaño de la arena media. En su mayoría presentan extinción ondulante, estando algunos fracturados, conteniendo dichas fracturas sericita y carbonatos de fierro parcialmente oxidados. Algunos granos muestran tenues líneas de deformación, presentando una textura "Lamelar". El porcentaje mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 20% del total de la roca.

Además contiene fragmentos de cuarzo policristalino de formas subangulosas, de tamaño de la arena media a la arena muy gruesa, estos granos probablemente sean de origen metamórfico. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 5% del total de la roca.

Contiene fragmentos de posibles feldespatos muy alterados hacia sericita y otros totalmente reemplazados por carbonatos. Aproximadamente 1% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas redondeadas a subredondeadas de tamaño de la arena gruesa hasta tamaños de los granulos, algunos de estos fragmentos están parcialmente reemplazados por carbonatos (carbonatación).

La mayoría de los granos son de rocas sedimentarias, principalmente de areniscas, limolitas y pedernal, algunos de estos fragmentos se encuentran alargados alineados de forma paralela a la esquistosidad. El porcentaje aproximado es de 15% del total de la roca.

Contiene fragmentos de rocas metamórficas de probables cuarcitas. El porcentaje aproximado es de 10% del total de la roca.

Se observan escasos fragmentos de carbonatos de fierro, aproximadamente 2% del total de la roca.

La sericita se encuentra en pequeñas superficies que definen una esquistosidad, la cual puede ser el producto de un evento de deformación posterior a la formación de la roca, ya que estas superficies atraviesan a algunos de los fragmentos. Aproximadamente 5% del total de la roca.

Estos fragmentos están englobados en cementante constituido por carbonatos, carbonatos de fierro y minerales de la arcilla que han sufrido alteración hacia sericita.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arenisca, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DE REAL DE CATORCE

MUESTRA RC 25

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica formada por fragmentos de formas angulosas a subredondeadas, mostrándose en ocasiones difícil observar la redondez de los granos, dada la compactación y cementación de los mismos. Los fragmentos muestran esfericidad baja a moderada, de tamaño que varía entre la arena media a la arena muy gruesa, bien clasificada, con nula porosidad. El cementante es escaso, ya que los granos en su mayoría están en contacto entre sí, estando solamente en ocasiones cementados por sílice de segregación y por minerales de la arcilla, mostrando una textura submadura a madura.

Mineralogía:

La roca está constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos y en menor cantidad por fragmentos de roca, arcillas y sílice de segregación.

El cuarzo está presente en fragmentos de tamaño de la arena media a la arena muy gruesa, de formas angulosas a subredondeadas, aunque en ocasiones no se observa muy bien, ya

que los granos están muy compactados. La mayoría de estos fragmentos se observan limpios en su superficie, solo que algunos presentan extinción ondulante y en otros granos se observan pequeños puntos negros alineados a lo largo del fragmento (señales de presión). El contenido mineralógico de estos fragmentos es de aproximadamente 75% del total de la roca.

Los También contiene fragmentos de formas angulosas a subredondeadas, de tamaño de la arena gruesa, de cuarzo policristalino de origen metamórfico. Estos fragmentos ocupan aproximadamente 4% del volumen total de la roca.

Los pocos fragmentos de feldespatos alcalinos que se observan presentan alteración moderada a fuerte hacia sericita, mostrando algunos granos inicios de disolución, lo que dificulta su precisa identificación, ya que es fácil confundirlos con el cementante. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas angulosas subredondeadas, de tamaño de la arena gruesa a la arena muy gruesa y se identificaron como fragmentos de rocas metamórficas de bajo y alto grado (pizarras y cuarcitas), encontrándose en aproximadamente un 8% del total de la roca; así como fragmentos de rocas sedimentarias (areniscas y pedernal) las cuales ocupan un 5% del total de la roca.

El cementante esta constituido por minerales de la arcilla, los cuales han sufrido alteración hacia sericita y por sílice de segregación, el cual esta presente en forma de sobrecrecimiento de los granos detriticos. Además contiene carbonatos, los cuales están relleno espacios entre los granos, óxidos de fierro y escasos minerales pesados.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arenisca, según Heinrich (1972).

MUESTRA RC 28b

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris claro con láminas de color café rojizo, de estructura laminar, con láminas de 2mm hasta 1cm de espesor, de dureza menor que la de la navaja, de textura pelítica – sammítica. Las láminas de color café rojizo son de tamaño de grano fino a medio, con fragmentos de cuarzo y mica blanca, pasando gradualmente hacia la lámina de color

gris claro, de tamaño de grano más fino, la cual pasa a la lámina de grano muy fino. Dentro de las láminas de tamaño de grano fino, se observan fragmentos de color café rojizo, de grano muy fino, probablemente de rocas sedimentarias.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca elástica constituida por fragmentos de tamaño que varía entre la arena muy fina a la arena media, predominando los primeros, de formas angulosas a subredondeadas, con moderada a baja esfericidad, bien clasificada. El cementante está constituido en su mayoría por sílice de segregación y sílice micro a criptocrystalino, estando presentes minerales de la arcilla y carbonatos. Los fragmentos se encuentran orientados en capas.

Mineralogía:

La roca está constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos y en menor cantidad por fragmentos de rocas.

El cuarzo está presente en fragmentos de tamaño de la arena muy fina a la arena media, de formas angulosas a subredondeadas. Se observan limpios en su superficie, mostrando solamente algunos granos extinción ondulante, algunos granos muestran sobrecrecimiento y otros presentan una ligera corrosión en sus extremos. El contenido mineralógico de los fragmentos de cuarzo es de aproximadamente 50-55% del total de la roca.

Además contiene fragmentos de cuarzo policristalino de formas subangulosas de probable origen metamórfico. Estos fragmentos están presentes en un 3% del total de la roca.

Los fragmentos de feldespatos alcalinos son de formas subangulosas, de tamaño de la arena fina y presentan alteración moderada a fuerte hacia sericita. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 10% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas a subredondeadas, de tamaño de la arena fina a la arena media y corresponden a fragmentos de rocas metamórficas, los cuales muestran una textura esquistosa, identificándose como pizarras y esquistos. Estos fragmentos se encuentran aproximadamente en un 3% del total de la roca.

Además se observaron fragmentos de rocas sedimentarias (rocas limáticas y areniscas), los cuales están presentes en aproximadamente un 1% del total de la roca.

También contiene pequeñas hojuelas de micas (moscovita), minerales metálicos, los cuales se encuentran alineados siguiendo un estrato y óxidos de hierro rellenando la separación de los estratos y rodeando a algunos de los fragmentos. El porcentaje aproximado de estos minerales es de 5% del total de la roca.

El cementante está constituido por minerales de la arcilla que han sufrido alteración hacia sericita y hacia clorita, además contiene sílice de segregación y en menor cantidad carbonatos. Es muy probable que la sílice de segregación sea producto de la disolución por presión de los constituyentes de la roca.

En general la mayoría de los componentes muestran un alineamiento preferencial producido por la presión, mostrando "sombras de presión".

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Grauwaca, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL ÁREA DE CHARCAS

MUESTRA CHR 3 – 03

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris claro, de estructura compacta, de dureza mayor que la de la navaja, de textura sammitica, de tamaño de grano medio, con fragmentos de cuarzo y escasos fragmentos de color negro, de forma alargada de probablemente minerales ferromagnesianos. Presenta dos tipos de fracturas, unas están rellenas de calcita y las otras están rellenas de óxidos de hierro.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca constituida por fragmentos de tamaño que varía desde la arena fina hasta la arena gruesa, de formas angulosas a subredondeadas, con baja esfericidad, presenta una clasificación moderada, no presenta porosidad intergranular y el cementante es de precipitación química y clástico, el primero está constituido por sílice micro a

criptocristalino y por carbonatos y el segundo esta formado por minerales de la arcilla. Mostrando una textura inmadura a madura.

Mineralogía:

La roca esta formada por fragmentos de cuarzo, de feldespato alcalino y sódico-cálcicos, por fragmentos de rocas, además contiene minerales de la arcilla, sílice, micas minerales metálicos, óxidos de fierro y carbonatos.

Los fragmentos de cuarzo son de formas subangulosas a subredondeadas, de tamaño que varía entre la arena fina y la arena gruesa, predominando los fragmentos de tamaño de la arena media. La mayoría de los fragmentos muestran fracturamiento y sombras de presión, lo que nos indica que probablemente provengan de una roca metamórfica. Además de que algunos granos presentan extinción ondulante. El contenido mineralógico de estos fragmentos es de aproximadamente 30% del total de la roca.

Además se observan fragmentos de cuarzo policristalino de probable origen metamórfico, de formas subangulosas, de tamaño de la arena media, los cuales ocupan aproximadamente 3% del total de la roca.

Los feldespatos alcalinos se presentan en fragmentos de tamaño de la arena fina a la arena media y presentan alteración moderada a fuerte hacia minerales de la arcilla y hacia sericita, además algunos granos muestran un ligero reemplazamiento por carbonatos (carbonatación) y se observan corroídos de sus extremos, además algunos de estos fragmentos están fracturados, penetrando en dichas fracturas óxidos de fierro. Algunos fragmentos muestran la macla de carlsbad. El porcentaje aproximado de los feldespatos es de 20% del total de la roca.

Los fragmentos de las plagioclasas son de tamaño parecido a los de los feldespatos y muestran la macla de la albita y de la albita - carlsbad, observándose algunos de los fragmentos deformados. Presentan alteración débil a moderada hacia sericita. Fue posible obtener el angulo de extinción de algunos granos y se identificaron como albitas y andesinas. El porcentaje aproximado es de 7% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de formas subangulosas y son de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas.

Los fragmentos de rocas metamórficas se identificaron como pizarras, esquistos y cuarcitas, observándose algunos de estos fragmentos deformados. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 15% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas ígneas probablemente sean de composición intermedia a básica, y dado que son de grano muy fino y se observan un poco alteradas, es difícil una identificación más precisa. Estos fragmentos se encuentran en un 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de rocas limáticas y de pedernal, ocupando aproximadamente un 10% del volumen total de la roca.

Además contiene escasas hojuelas detriticas de micas (moscovita), aproximadamente 2% del total de la roca.

También se observan minerales metálicos, los cuales se encuentran distribuidos irregularmente en la roca relleno de espacios entre los granos. El porcentaje aproximado es de 1% del total de la roca.

El cemento está constituido por minerales de la arcilla que han sufrido una moderada alteración hacia sericita y hacia clorita, además contiene sílice micro a criptocristalino y carbonatos. El porcentaje aproximado del cemento es de 7% del total de la roca.

La roca contiene además micro vetillas, las cuales están rellenas de clorita, carbonatos y óxidos de hierro.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arcosa, según Heinrich (1972).

MUESTRA CHR 6 – 03

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica que contiene fragmentos de tamaño que varía entre la arena muy fina y la arena gruesa, de formas subangulosas a redondeadas, con baja a moderada esfericidad, presenta una clasificación moderada. En general, la roca está soportada grano a grano, mostrando una textura submadura, dada la escasez de cemento arcillo, estando este presente en muy poca cantidad.

Mineralogía:

La roca esta formada por fragmentos de cuarzo, de feldespatos tanto sódico – cálcicos como por alcalinos, por fragmentos de rocas, micas, minerales metálicos, carbonatos y arcillas.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño que varia desde la arena muy fina hasta la arena gruesa, observándose en su mayoría limpios en su superficie, algunos granos muestran extinción ondulante y otros contienen lamelas (estrias) de deformación. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 35% del total de la roca.

También contiene fragmentos de cuarzo policristalino de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de formas subredondeadas; estos fragmentos son de origen metamórfico e igneo y se encuentran en aproximadamente 8% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son de tamaño de la arena media a la arena gruesa, totalmente alterados hacia sericita, aunque algunos fragmentos muestran alteración moderada hacia sericita, lográndose identificar un fragmento como sanidino. El porcentaje aproximado de estos granos es de 15% del total de la roca.

Los feldespatos sódico – cálcicos se encuentran en menor proporción que los alcalinos y se trata de fragmentos de tamaño de la arena fina a media con maclas de la albita y tienen alteración moderada hacia sericita, algunos fragmentos están fracturados, conteniendo dichas fracturas. Se logro identificar algunos granos como andesina y oligoclasa. El porcentaje aproximado de las plagioclasas es de 8% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas a redondeadas, de tamaño que varia de la arena media a la arena gruesa y corresponden en su mayoría a fragmentos de rocas metamórficas, además de observarse fragmentos de rocas sedimentarias y volcánicas.

Los fragmentos de rocas metamórficas se identificaron como pizarras, filitas micaceas y/o esquistos y cuarcitas, ocupando aproximadamente 15% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de lutitas, areniscas y pedernal, encontrándose en un 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas volcánicas se observan muy alterados, posiblemente sean de rocas de composición intermedia a básica, ocupando aproximadamente 5% del total de la roca.

Fragmentos detríticos de hojuelas de micas (moscovita-sericita) diseminados entre los granos, observándose algunos de estos fragmentos deformados. El porcentaje aproximado es de 3% del total de la roca.

Se observan minerales metálicos diseminados irregularmente entre los granos y carbonatos en las zonas de huecos y en ocasiones como manchas cubriendo algunos de los componentes, mostrando el inicio de la carbonatación.

El cementante aunque es escaso está constituido por minerales de la arcilla alterados hacia sericita y hacia algo de clorita, estando los fragmentos en contacto grano a grano.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arcosa, según Heinrich (1972).

MUESTRA CHR 9 – 03

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris oscuro, de estructura compacta, de dureza mayor que la de la navaja, de textura sammitica, de tamaño de grano medio a fino, con fragmentos de cuarzo, feldespatos alterados y escasos fragmentos de mica blanca.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica formada por fragmentos de tamaño que varía entre la arena muy fina a la arena gruesa, predominando los granos con tamaño de la arena media, de formas angulosas a subredondeadas, con baja a moderada esfericidad, pobremente clasificada, no se observan poros inter granulares estando en general los granos en contacto grano a grano, cementados únicamente por una delgada película de arcillas, en ocasiones si se aprecia más porcentaje de arcillas. La muestra presenta una textura submadura a madura.

Mineralogía:

La roca está constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos y sódico – cálcicos, fragmentos de rocas, micas, minerales arcillosos y minerales metálicos.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño de la arena muy fina a la arena gruesa, de formas angulosas a subredondeadas, observándose limpios en su superficie, presentando

algunos granos extinción ondulante. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 30% del total de la roca.

Fragmentos de cuarzo policristalino de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de formas subredondeadas, los cuales son probablemente de origen metamórfico. El porcentaje aproximado es de 5% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son de tamaño de la arena media, de formas subangulosas, están totalmente alterados hacia sericita. El contenido aproximado de estos fragmentos es de 20% del total de la roca.

Las plagioclasas se presentan en fragmentos de tamaño de la arena fina a la arena media, tienen alteración moderada a fuerte hacia sericita, observándose en algunos fragmentos la macla de la albita e identificándose como andesinas. El porcentaje es de 5% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de tamaño de la arena media a la arena gruesa, de formas angulosas a subredondeadas, y corresponden en su mayoría a rocas metamórficas y a rocas sedimentarias.

Los fragmentos de las rocas metamórficas son de metamorfismo de bajo grado (filitas), otros granos son de metamorfismo de alto grado (esquistos), encontrándose en aproximadamente un 20% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de rocas de grano muy fino (limáticas) y de pedernal. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 10% del total de la roca.

Fragmentos detríticos de micas (moscovita) distribuidas en toda la roca, las cuales ocupan el 4% del total de la roca.

Escasos minerales metálicos totalmente oxidados. El porcentaje aproximado es de 2% del total de la roca. El cementante esta constituido por minerales de la arcilla alterados a clorita.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica: Arcosa, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL ÁREA DE PRESA DE SANTA GERTRUDIS

MUESTRA ENC – 1

DESCRIPCIÓN DE CAMPO.

Arenisca de color de intemperismo café amarillento y color verde pardo en superficie fresca, constituida por fragmentos de tamaño de grano grueso, de formas angulosas, los cuales son principalmente de cuarzo, conteniendo también cuarzo lechoso y fragmentos líticos de probables rocas sedimentarias, además se observan minerales ferromagnesianos y óxidos de hierro.

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris claro a verdoso, de estructura compacta, de dureza mayor que la de la navaja, de textura sammitica, de tamaño de grano fino, con fragmentos de cuarzo y abundantes fragmentos de color negro, de probablemente minerales ferromagnesianos.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica que contiene fragmentos de tamaño que varía entre 0,59, 0,23 y 0,10 (arena gruesa a la arena muy fina), predominando los fragmentos del tamaño de la arena media y de la arena muy fina. Los granos son de formas angulosas a subredondeadas, con moderada a baja esfericidad, presentando una clasificación moderada. El cementante, aunque es escaso esta constituido principalmente por carbonatos y en menor cantidad por minerales de la arcilla.

Mineralogía:

La roca esta constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos alcalinos y sódico-cálcicos y por fragmentos de roca.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño de la arena gruesa a la arena muy fina, de formas angulosas a subredondeadas, observándose limpios en superficie, aunque algunos granos están muy fracturados. El contenido mineralógico del cuarzo esta en aproximadamente 35% del total de la roca.

Los fragmentos de los feldespatos alcalinos son de formas angulosas, de tamaño de la arena media a la arena fina. La mayoría de los fragmentos presentan alteración moderada a fuerte hacia sericita y algunos tiene un ligero reemplazamiento por carbonatos (carbonatación). Además algunos fragmentos están muy fracturados. Se pudieron identificar como ortoclasa, además se encontro un fragmento de microclina. El contenido mineralógico de los feldespatos es de aproximadamente 25% del total de la roca.

Los fragmentos de plagioclasas son de formas angulosas, de tamaño de la arena media a la arena fina, observándose en su mayoría sin alteración (sanos), solamente algunos presentan alteración moderada hacia minerales de la arcilla. Presentan la macla de la albita y la combinada albita – carlsbad. Se identificaron como albita, andesina y labradorita, estando en aproximadamente 10% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas a subredondeadas, de tamaño que varía entre la arena gruesa a la arena fina (0.57 – 0.22 mm) y corresponden a rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas.

Los fragmentos de rocas sedimentarias son de limolitas y de pedernal, se encuentran en aproximadamente 5% del total de la roca.

Los fragmentos de las volcánicas son muy probablemente de composición máfica, estando presentes en aproximadamente 4%.

Los fragmentos de las rocas metamórficas son de metamorfismo de alto grado, cuarcitas, esquistos y gneises, encontrándose aproximadamente en un 3% del total de la roca.

También contiene hojuelas de mica detritica (moscovita?). El contenido mineralógico de estos fragmentos es de aproximadamente 2%.

Estos fragmentos están cementados por carbonatos, los cuales también se encuentran en fragmentos de formas subangulosas y por minerales de la arcilla débilmente alterados hacia sericita y clorita. Además contiene escasos óxidos de fierro y minerales metálicos distribuidos irregularmente entre los demás granos.

Clasificación.

Roca sedimentaria clástica; Arcosa, según Heinrich (1972).

LOCALIDAD DEL ÁREA DE LA BALLENA, ZACATECAS

MUESTRA LBP 03

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO.

Roca clástica de color gris claro a gris verdoso, de estructura compacta, de dureza mayor que la de la navaja, de textura sammitica, de tamaño de grano medio, con fragmentos de cuarzo y mica blanca, además óxidos de fierro diseminados.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.

Textura:

Roca clástica que contiene fragmentos de tamaño que varia desde la arena fina hasta la arena gruesa, predominando los tamaños más finos, de formas subangulosas a subredondeadas, con baja esfericidad, presentando una clasificación moderada. El cementante esta constituido por minerales clásticos y de precipitación química, el primero es de minerales de la arcilla y el segundo de sílice microcristalino.

Mineralogía:

La roca esta constituida por fragmentos de cuarzo, feldespatos sódico – cálcicos como alcalinos y en menor cantidad por fragmentos de rocas, además de contener minerales de la arcilla, micas, clorita y carbonatos.

El cuarzo se presenta en fragmentos de tamaño de la arena media a la arena gruesa, predominando los primeros, de formas subangulosas a subredondeadas. Se observan en general sanos, aunque algunos granos presentan una débil disolución. El contenido mineralógico del cuarzo es de aproximadamente 40% del total de la roca.

Además contiene cuarzo policristalino en fragmentos de tamaño de la arena media, de forma subangulosa, de origen metamórfico e igneo. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

Los feldespatos tanto sódico-cálcicos como alcalinos son del tamaño de la arena fina a la arena media, de formas subangulosas. Los sódico-cálcicos son fragmentos que muestran la macla de la albita y presentan alteración débil hacia sericita, algunos fragmentos se observan frescos, mostrando una ligera corrosión en sus extremos. Se identificaron como

oligoclasa y andesina. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 13% del total de la roca.

Los feldespatos del tipo alcalino tienen alteración moderada hacia minerales de la arcilla y hacia sericita, observándose algunos granos totalmente alterados hacia sericita. La mayoría de los feldespatos muestran corrosión en sus extremos y se encuentran en ocasiones asociados al cuarzo y a los minerales del cementante, estando en contacto entre sí. El contenido aproximado de estos fragmentos es de 20% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas son de formas subredondeadas y corresponden en su mayoría a fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado de metamorfismo, encontrándose en menor cantidad fragmentos de rocas sedimentarias.

Los fragmentos de rocas metamórficas se identificaron como pizarras, filitas y posibles cuarcitas. El porcentaje aproximado es de 7% del total de la roca.

Los fragmentos de rocas sedimentarias se identificaron como rocas limáticas y pedernal. El porcentaje aproximado de estos fragmentos es de 3% del total de la roca.

También contiene fragmentos de pequeñas hojuelas de micas (moscovita), los cuales se encuentran alineados de forma paralela siguiendo una alineación 2%.

En general la mayoría de los fragmentos presentan corrosión por disolución y llegan a presentar un ligero lineamiento junto con los minerales que constituyen el cementante, definiendo una esquistosidad, la cual pudo ser producto de un evento de deformación posterior a la formación de la roca.

El cementante está constituido por minerales de la arcilla alterados moderadamente hacia sericita, la cual se observa en forma de agregados y en pequeñas superficies que definen una esquistosidad, y hacia algo de clorita, además contiene sílice de segregación, óxidos de hierro diseminados y carbonatos, los cuales se encuentran rellenando espacios intergranulares.

Clasificación:

Roca sedimentaria clástica; Arcosa, según Heinrich (1972).

LÁMINA I

Fotomicrografía 1.- Muestra CHR 9-03. Fragmentos de cuarzo (C), así como de feldespato (F) y Plagioclasa (P) parcialmente alterados. En el centro de la fotografía se puede apreciar un fragmento de una roca metamórfica, probablemente un esquisto, así como un fragmento alargado de una mica. Nícoles cruzados, 10X.

Fotomicrografía 2.- Muestra CHR 9-03. Fragmento redondeado de una arenisca recrystalizada (Ar), así como fragmentos de cuarzo (C) y feldespato (F). Nícoles cruzados, 20X.

Fotomicrografía 3.- Muestra CHR 9-03. Se observa un fragmento de plagioclasa al centro de la fotografía, rodeado por fragmentos de cuarzo (C), feldespato (F) y minerales máficos alterados (M) cementados por arcilla recrystalizada hacia sericita (S). Se puede apreciar un circon detritico (Z). Nícoles cruzados, 10X.

Fotomicrografía 4.- Muestra CHR 9-03. Fragmento de feldespato totalmente alterado hacia sericita, rodeado por fragmentos de cuarzo (C), cuarzo policristalino (CP), feldespato (F) y minerales máficos alterados (M). Nícoles cruzados, 10X.

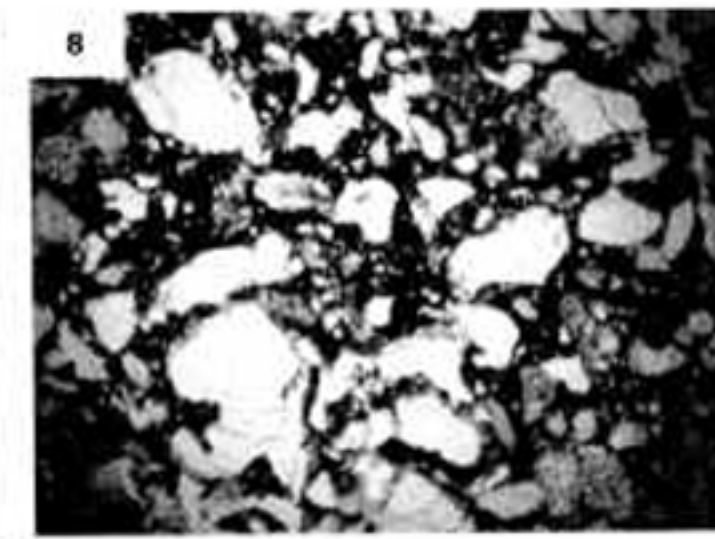
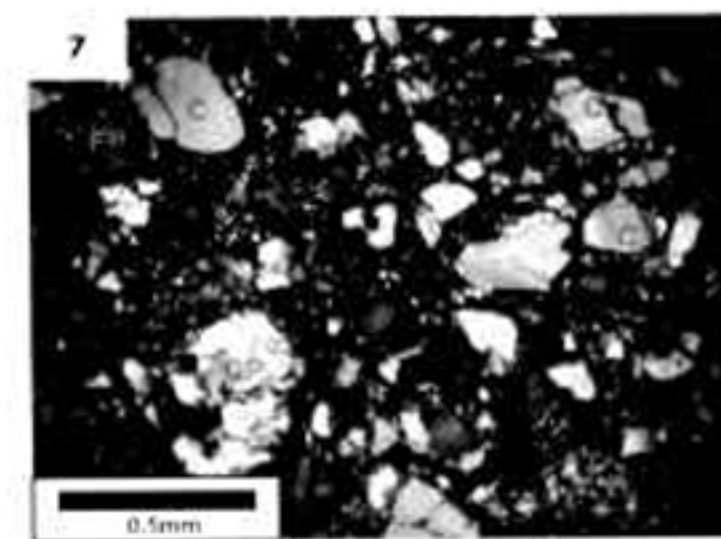
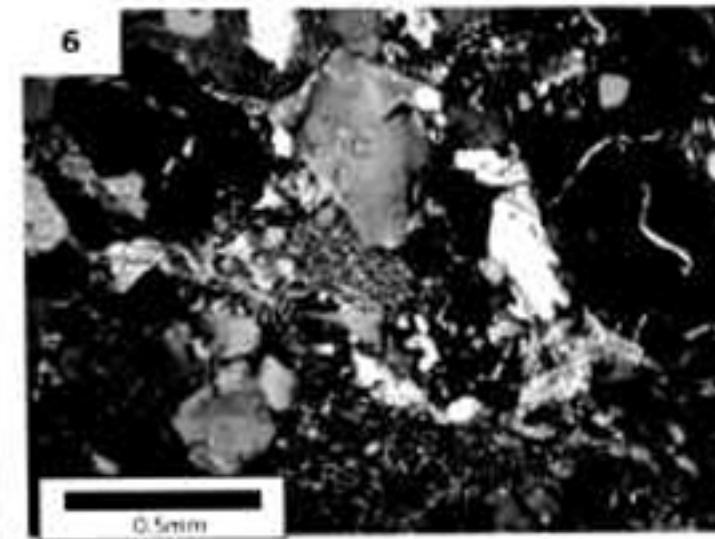
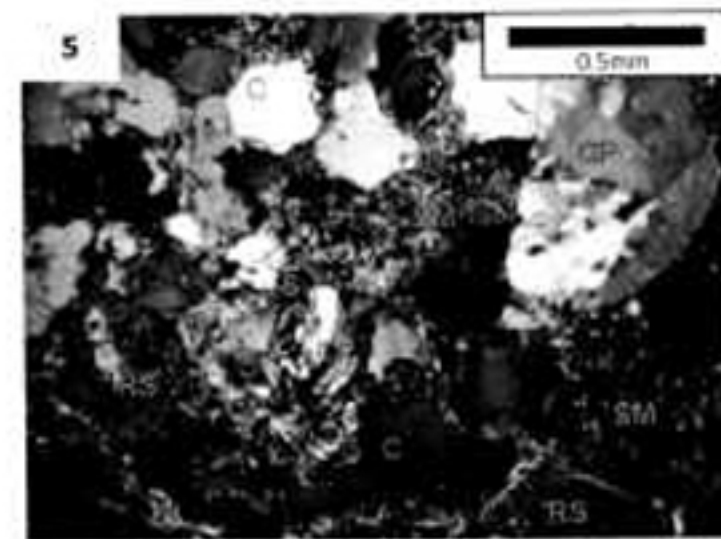
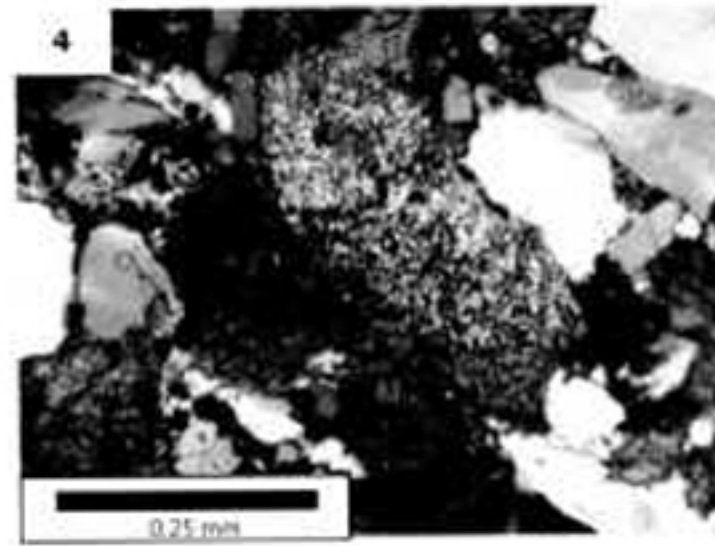
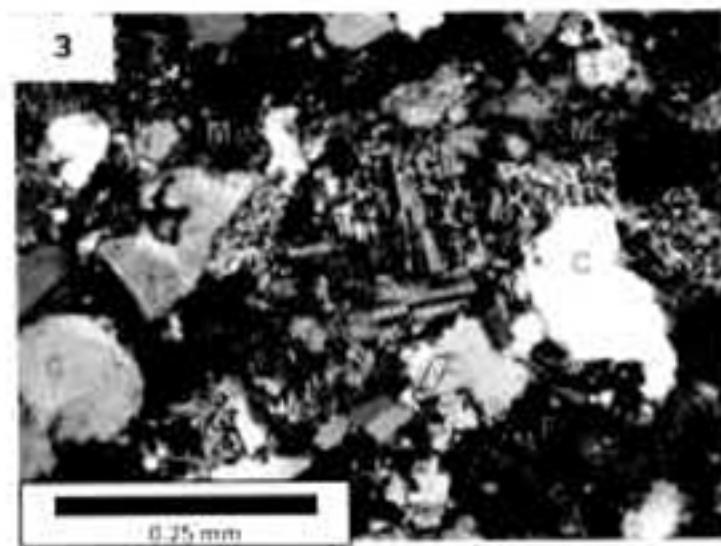
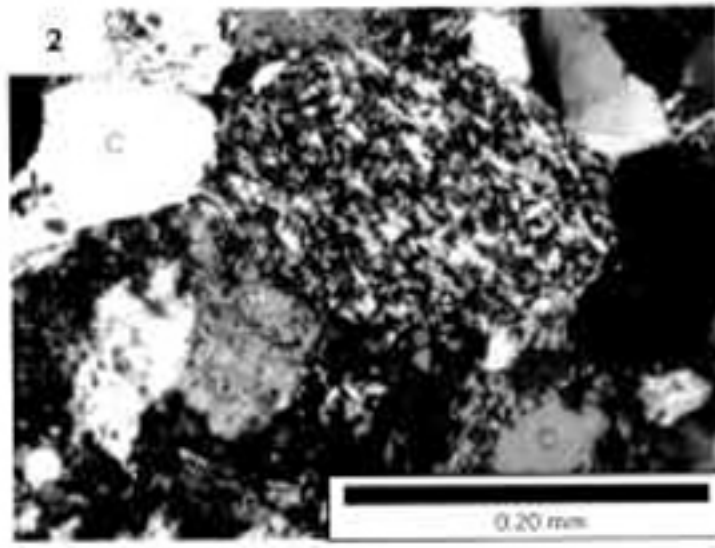
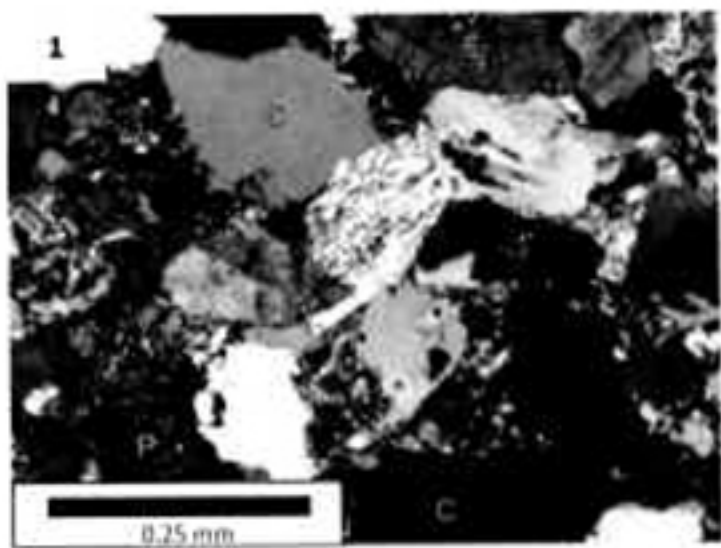
Fotomicrografía 5.- Muestra CN 2-2. Fragmentos redondeados de cuarzo (C), cuarzo policristalino (CP) y rocas sedimentarias (RS), cementados por sílice microcristalina (SM) y arcillas alteradas hacia sericita y óxidos de fierro (S). En la parte inferior izquierda de la fotografía se puede observar clorita (CL). Nícoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 6.- Muestra CN 2-2. Fragmentos de rocas sedimentarias (RS) y de cuarzo con fracturas rellenas de CaCO_3 (C). El cementante esta formado por arcillas alteradas hacia sericita y óxidos de fierro. Se observan microvetillas de CaCO_3 (MV). Nícoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 7.- Muestra CN 1-3. Fragmentos redondeados de cuarzo (C), feldespato (F) y cuarzo policristalino (CP). Nícoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 8.- Muestra CN 1-3. Fragmentos de cuarzo con crecimiento secundario (CS). Luz natural, 4X.

Nota. La escala mostrada en las fotomicrografias, es una escala gráfica aproximada.



LAMINA I.

LÁMINA 2

Fotomicrografía 1.- Muestra CHR 3-03. Fragmentos subangulosos a redondeados de cuarzo (C), feldespato (F) y plagioclasa (P), además de micas detriticas probablemente biotita (B). Nicoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 2.- Muestra SMP 2.6 b. Fragmentos angulosos a subangulosos de cuarzo (C), escaso feldespato alterado (F), así como minerales arcillosos y sericita actuando como cementante (S). Nicoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 3.- Muestra SMP 2.6 b. Fragmento de roca metamórfica (filita, RM), además contiene fragmentos de cuarzo (C), pedernal (Pd) y feldespato reemplazado por carbonato (carbonatación, Ca). Nicoles cruzados, 20X.

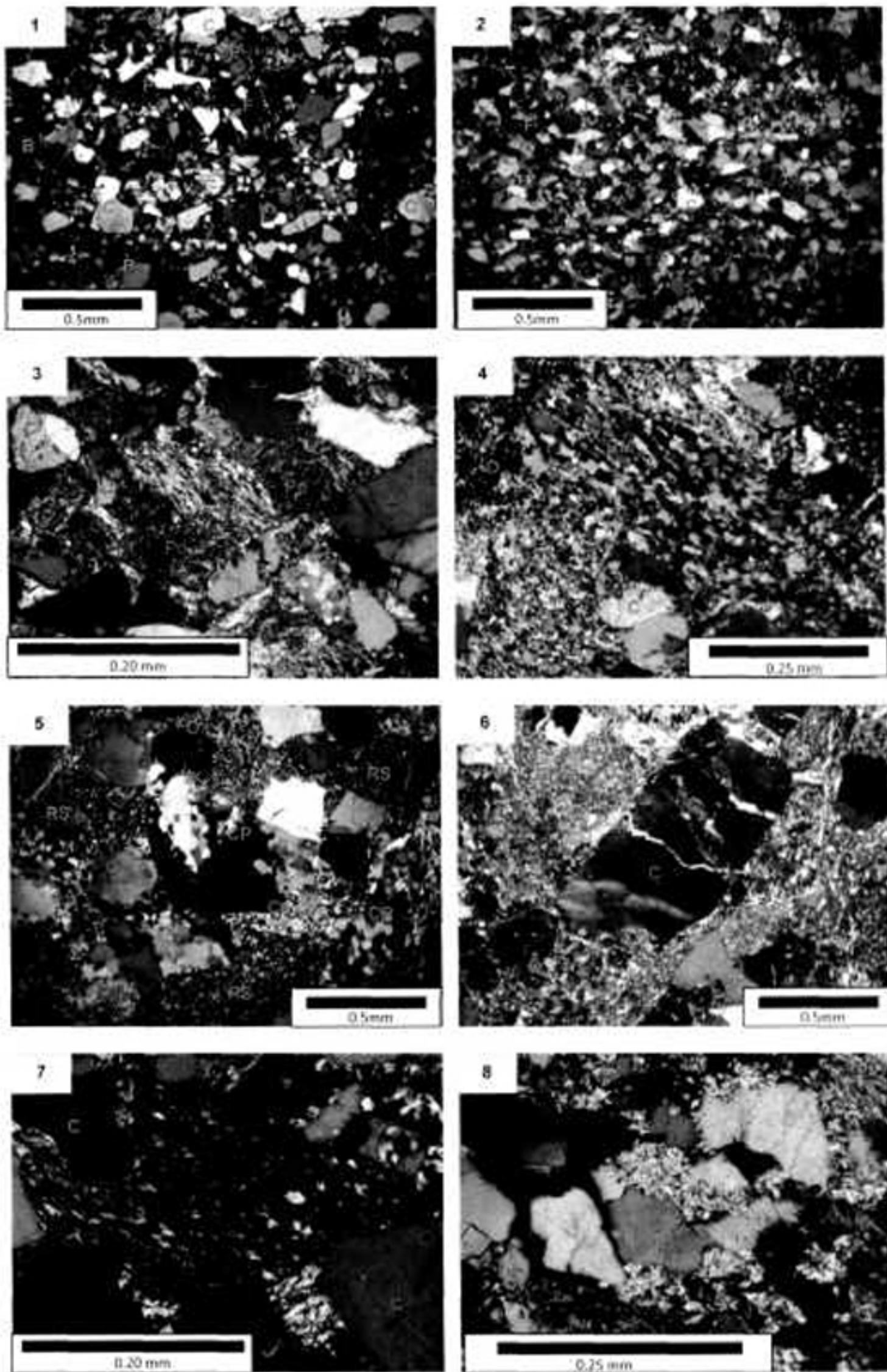
Fotomicrografía 4.- Muestra CN 2-2. Fragmento de una cuareita, además de fragmentos de cuarzo (C), sílice microcristalina (SM), carbonatos (Ca) y óxidos de hierro (O). Nicoles cruzados, 10X.

Fotomicrografía 5.- Muestra CN 2-2. Fragmentos de cuarzo policristalino (CP), de cuarzo (C) y rocas sedimentarias (RS), cementados por arcillas alteradas hacia sericita (S), además de óxidos de hierro (O) y carbonatos (CA). Nicoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 6.- Muestra CN 2-2. Fragmento de cuarzo de probable origen metamórfico, el cual muestra extinción ondulante, además de fragmentos de cuarzo (C) y de rocas sedimentarias (RS), el cementante es arcilloso alterado hacia sericita (S), la cual se encuentra asociada con carbonatos (Ca) y óxidos de hierro (O). Obsérvese como los fragmentos de roca han sido deformados y disgregados confundiendo con el cementante. Nicoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 7.- Muestra CN 2-1. Fragmento de roca sedimentaria la cual muestra una moderada orientación de los minerales arcillosos (limolita), rodeado por fragmentos de cuarzo (C).

Fotomicrografía 8.- Muestra CN 2-1. Fragmentos de cuarzo (C), de feldespato totalmente alterado hacia sericita (F) actuando como cementante y de rocas metamórficas (filita, RM). Obsérvese como se van perdiendo los límites de los granos de cuarzo, debido a la compactación. Nicoles cruzados, 40X.



LAMINA 2.

LÁMINA 3

Fotomicrografía 1.- Muestra LBP 03. Fragmento de roca metamórfica (RM) rodeado por fragmentos de cuarzo (C) y feldespato (F). Obsérvese como algunos fragmentos están elongados mostrando una ligera alineación. Nicoles cruzados, 10X.

Fotomicrografía 2.- Muestra LBP 03. Fragmento de plagioclasa alterado y rodeado por minerales máficos alterados hacia óxidos de hierro (M); además de fragmentos de cuarzo (C) y feldespato (F). Nicoles cruzados, 10X.

Fotomicrografía 3.- Muestra RPT 25. Fragmentos de cuarzo (C) y pedernal (Pd). Obsérvese como el contacto entre los granos es irregular debido a la disolución por presión. Nicoles cruzados 10X.

Fotomicrografía 4.- Muestra RPT 25. Presenta una textura submadura, moderadamente clasificada. Note como los granos están unidos entre sí, debido a la compactación y disolución. Nicoles cruzados 10X.

Fotomicrografía 5.- Muestra RC 28b. Fragmento de cuarzo encerrado en pequeñas superficies de carbonatos, desarrollando sombras de presión y definiendo un ligero alineamiento preferencial. Nicoles cruzados, 10X.

Fotomicrografía 6.- Muestra ENC-1. Fragmentos subangulosos a redondeados, moderadamente clasificados de cuarzo (C) y feldespato (F) cementados por minerales de la arcilla (a) y carbonatos (Ca). Nicoles cruzados, 4X.

Fotomicrografía 7.- Muestra ENC-1. Fragmento de una probable roca volcánica, el cual está constituido por pequeños cristales de cuarzo y feldespato en una matriz cristalina; además de fragmentos de cuarzo (C) y feldespato (F), cementados por carbonatos (Ca). Nicoles cruzados, 20X.

