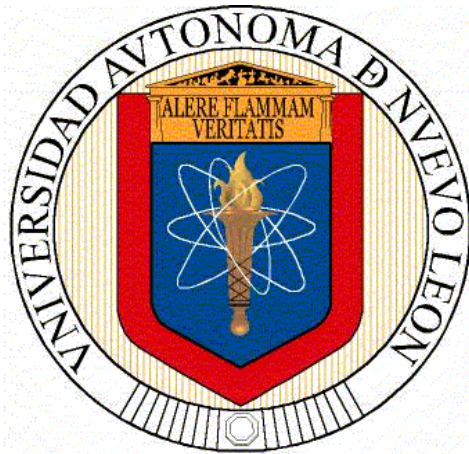


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**TESIS**

**“REVISIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL JURÁSICO EN EL CERRO  
LA CRUZ, ARAMBERRI, NUEVO LEÓN”**

**PRESENTA**

**JUAN MOISÉS CASAS PEÑA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**JULIO, 2016**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



LA TESIS

**“REVISIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL JURÁSICO EN EL CERRO LA  
CRUZ, ARAMBERRI, NUEVO LEÓN”**

ELABORADA POR

**JUAN MOISÉS CASAS PEÑA**

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR  
AL GRADO DE **MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

VO. BO.

COMITÉ DE TITULACIÓN

---

**DR. UWE JENCHEN**  
DIRECTOR DE TITULACIÓN

**LINARES, NUEVO LEÓN,**

**JULIO 2016**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



Tesis

**“REVISIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL JURÁSICO EN EL CERRO LA  
CRUZ, ARAMBERRI, NUEVO LEÓN”**

Elaborada por

**JUAN MOISÉS CASAS PEÑA**

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar al grado de  
**Maestro en Ciencias Geológicas**

Vo. Bo.

Comité de Titulación

---

**Dr. UWE JENCHEN**  
Director de titulación

---

**Dr. JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ**  
Co-Director

---

**Dr. FERNANDO VELASCO TAPIA**  
Co-Director

Linares, Nuevo León,

Julio 2016

**“No debemos dejar que nuestros temores nos impidan perseguir nuestras esperanzas”**

*John Fitzgerald Kennedy.*

**“Los obstáculos son esas cosas temerosas que vemos al quitar nuestros ojos de nuestra meta”**

*Henry Ford.*

## **Dedicatoria**

Especialmente para mi madre *Bertha Lilia Peña Ortiz* y padre *Juan Bosco Casas López* que siempre están ahí, apoyándome incondicionalmente sin importar el obstáculo que se interponga y permitirme la oportunidad de llegar hasta esta etapa, para mi familia *hermanos, tíos y amigos*.

En memoria de mi madrina tía-abuela *Andrea López Montelongo* (†) por desde pequeño alentarme a seguir superándome.

## **Agradecimientos**

A Dios, por permitir darme paciencia, sabiduría y regocijo de concluir esta etapa.

Al finalizar el trabajo tan arduo y lleno de dificultades como es el desarrollo de la tesis de posgrado, te muestra inmediatamente que, para el progreso del tema, existe cierta magnitud de aporte de ideas, consejos, opiniones o diferentes puntos de vista, que hubiese sido imposible, sin la participación de maestros, colegas, personas e instituciones, que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con las personas que me brindaron este apoyo, expresándoles mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial, mis asesores y amigos Dr. Uwe Jenchen, Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández y Fernando Velasco Tapía por haberme motivado en la realización del trabajo con sus contribuciones e ideas para lograr finalizar el trabajo.

Agradezco infinitamente de una forma muy sincera a la Dra. Yolanda Pichardo por su apoyo, enseñanza, fe en mí como estudiante, sugerencias, soporte logístico y sincera amistad no solo en la realización de este trabajo.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por brindarme apoyo económico y patrocinar mis estudios y manutención.

A mi generación los H.F.M.C (Hermandad de Futuros Maestros en Ciencias), Eduardo Alemán Gallardo, Jesús Aurelio, Gerardo Vargas, Darío Torres y Adrian Salinas, que permitieron formar parte de tantos retos, fiestas, horas de estudio y presiones a lo largo de estos dos años.

A mis amigos, Eduardo Alemán, Carlos Castillejo y Miguel Ramos (Mike) por acompañarme al campo y haber contribuido en ideas, conocimientos de geología, para cartografiar el área.

A Maria de Jesus Martinez (Maríchuy) por sus sugerencias y apoyo en literatura.

A mi hermana Karla Nallely Casas Peña por siempre estar al tanto de mi periodo escolar de posgrado y siempre estar dispuesta a apoyar en cuanto pueda.

Amigos y personal de la FCT por mencionar algunos Grecia Niño, Yamely Mancha, las Roomies de lalo, Cinthia Soto, Luis Alemán, Victoriano, Oligario, Vicente, los de la Manada de Lobos, los del servicio social de Velasco, los del Posgrado, a todos los profesores y secretarías, que gracias a todos ellos la Facultad funciona como tal y de manera constante, manteniendo siempre ese patrimonio único.

# Contenido

Resumen .....	xiv
Abstract .....	xv
<b>1 GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1    Introducción .....	1
1.2    Localización del área de estudio .....	2
1.3    Justificación del Trabajo .....	3
1.4    Hipótesis de Trabajo .....	5
1.5    Objetivo.....	6
1.6    Metas.....	6
1.7    Trabajos Previos.....	6
1.8    Metodología .....	9
1.8.1    Trabajo de Campo .....	9
1.8.2    Trabajo de Laboratorio .....	9
1.8.3    Trabajo de Gabinete.....	9
<b>2 GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>10</b>
2.1    Introducción .....	10
2.2    Tectónica del Jurásico para el Noreste de México .....	11
2.2.1    Etapa de apertura ( <i>rifting</i> ) y secuencias del Jurásico Temprano – Medio para el Noreste de México.....	11
2.2.2    Etapa de dispersión ( <i>drifting</i> ) y secuencias del Jurásico Tardío para el Noreste de México .....	18
2.3    Generalidades de la Sierra Madre Oriental.....	20
2.3.1    Estratigrafía de la Sierra Madre Oriental .....	21
2.3.2    Rasgos estructurales de la Sierra Madre Oriental .....	23
2.4    Altos de Basamento existentes durante el Jurásico para el Noreste de México.....	24
2.4.1    Bloque Burro – Peyotes .....	25
2.4.2    Bloque de Coahuila .....	25
2.4.3    Arco de Tamaulipas.....	26

2.4.4	Alto de Aramberri.....	26
<b>3</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>28</b>
3.1	Introducción.....	28
3.2	Estratigrafía del área de estudio (Jurásico Inferior – Superior).....	32
3.2.1	Formación La Boca (Jurásico Inferior).....	32
3.2.2	Formación La Joya (Jurásico Medio).....	39
3.2.3	Formación Novillo (Jurásico Medio).....	42
3.2.4	Formación Olvido (Jurásico Superior).....	44
3.2.5	Formación Zuloaga (Jurásico Superior).....	49
3.2.6	Formación La Casita (Jurásico Superior).....	52
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS PETROGRÁFICO.....</b>	<b>56</b>
4.1	Introducción.....	56
4.2	Elaboración de láminas delgadas.....	57
4.3	Método de Petrográfico.....	58
4.4	Resultados de los análisis petrográficos cuantitativos.....	59
4.4.1	Formación La Boca.....	61
4.4.1.1	Muestra: BOCA – 02.....	61
4.4.1.2	Muestra: BOCA – 03.....	62
4.4.1.3	Muestra: BOCA – 04.....	62
4.4.1.4	Muestra: BOCA – 05.....	63
4.4.1.5	Muestra: BOCA – 06.....	64
4.4.1.6	Muestra: BOCA – 07.....	65
4.4.2	Formación La Joya.....	66
4.4.2.1	Muestra: JOYA – 02.....	66
4.4.2.2	Muestra: JOYA – 03.....	67
4.4.2.3	Muestra: JOYA – 04.....	68
4.4.3	Formación Olvido.....	69
4.4.3.1	Muestra: OLVIDO – 02.....	69



---

4.4.3.2	Muestra: OLVIDO – 03 .....	69
4.4.3.3	Muestra: OLVIDO – 04 .....	70
4.4.3.4	Muestra: OLVIDO – 05 .....	71
4.4.3.5	Muestra: OLVIDO – 06 .....	72
4.4.3.6	Muestra: OLVIDO – 07 .....	73
4.4.3.7	Muestra: OLVIDO – 08 .....	74
4.4.3.8	Muestra: OLVIDO – 09 .....	75
4.4.3.9	Muestra: OLVIDO – 10 .....	76
4.4.3.10	Muestra: OLVIDO – 11 .....	77
4.5	Parámetros contabilizados recalculados y procedencia .....	78
4.5.1	Diagramas ternarios discriminantes para la clasificación .....	80
4.5.2	Diagramas ternarios discriminantes para el área de aporte o procedencia de los sedimentos.....	82
<b>5</b>	<b>REVISIÓN MICROFACIAL .....</b>	<b>85</b>
5.1	Introducción .....	85
5.1.1	Rocas Carbonatadas.....	85
5.1.2	Concepto de facies, microfacies y ambiente de depósito.....	86
5.1.3	Clasificación de rocas carbonatadas por medio de Microfacies .....	87
5.2	Metodología para la Revisión Microfacial .....	89
5.3	Resultados generales de los componentes Microfaciales .....	90
5.3.1	Formación Novillo.....	91
5.3.1.1	Muestras: NOVILLO – 01 .....	91
5.3.1.2	Muestra: NOVILLO – 03 .....	92
5.3.1.3	Muestras: NOVILLO – 04. ....	93
5.3.1.4	Muestras: NOVILLO – 05 .....	94
5.3.2	Formación Zuloaga.....	95
5.3.2.1	Muestras: ZULOAGA – 01 .....	95
5.3.2.2	Muestras: ZULOAGA – 03.....	96
5.3.2.3	Muestras: ZULOAGA – 04.....	97

---

5.3.2.4	Muestras: ZULOAGA – 05 .....	98
5.3.2.5	Muestras: ZULOAGA – 06.....	99
5.3.2.6	Muestras: ZULOAGA – 07.....	100
5.4	Interpretación de las Microfacies .....	101
5.4.1	Modelo paleoambiental .....	101
<b>6</b>	<b>GEOQUÍMICA.....</b>	<b>103</b>
6.1	Metodología del Análisis Geoquímico.....	103
6.2	Geoquímica de las rocas clásticas .....	105
6.3	Elementos Mayores .....	108
6.3.1	Diagramas de relaciones con Elementos Mayores.....	109
6.3.1.1	Clasificación de las rocas detríticas del área de estudio .....	110
6.3.1.2	Índice de alteración química ( <i>CIA</i> ).....	112
6.3.1.3	Tipos de Ambientes Tectónicos y Procedencias .....	117
6.4	Elementos Traza y Lantánidos .....	119
6.4.1	Composición y Fuente .....	120
6.4.2	Transporte y Reciclamiento.....	121
6.4.3	Discriminación de Ambiente Tectónico .....	122
6.4.4	Diagramas de lantánidos ( <i>REE</i> ) normalizados a condrita.....	124
6.5	Geoquímica de las rocas carbonatadas .....	127
6.6	Diagramas bivariantes de relación elemental .....	128
6.6.1	Diagramas de relación para carbonatos .....	129
6.6.2	Diagramas Tipo Harker .....	133
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>135</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>139</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>150</b>

## Listado de Figuras

- Figura 1. 1:** Localización geográfica, vías de acceso y geología del área de estudio en Aramberri, Nuevo León. ....2
- Figura 1. 2** Columna estratigráfica que representa uno de los perfiles estudiados para una parte del Alto de Aramberri. Modificado de León-Gómez (1988). ....4
- Figura 1. 3:** Paleogeografía para el Jurásico, donde los picos negros representan el arco jurásico mientras que los polígonos de colores expresan los altos (color morado) y cuencas (color amarillo) de basamentos para el Noreste de México (Imagén modificada de *Colorado Plateau Geosystems Website*). La estrella de color morado hace referencia al Alto de Aramberri. ....5
- Figura 2. 1:** Paleogeografía global representativa del Triásico y la etapa de apertura entre Norteamérica y Sudamérica (flecha roja indica donde se llevó a cabo el evento tectónico) Abreviaciones: NA: Norteamérica, SA: Sudamérica, Ru: Rusia, E: Europa, A: África, AN: Antártica, Tr: Turquía, AS: Arabia Saudita, In: India, Ir: Irán, Nch: Norte de China, Aus: Australia (Keppie, 2004)..... 11
- Figura 2. 2** Reconstrucción geotectónica del Golfo de México del Triásico Tardío al Cretácico Medio A) Reconstrucción paleogeografía de México durante la depositación del Abanico Potosí del Triásico Tardío (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010). B-E). Muestra los límites de placas, los sistemas deposicionales para la época (litofacies) y con flechas azules muestra el sistema de las paleocorrientes. Abreviaciones: NA: Norteamérica, SA: Sudamérica, PC: Proto-Caribe, Y: Yucatán, Ch: Chorits, PV-SP: Plataforma Valles-San Luis Potosí, PT: Plataforma Tampico – Misantla, PB: Plataforma Bahamas, MSM: Megacizalla Mojave-Sonora, COOM: Cinturón Orogénico Ouachita- Marathon. (Fillon, 2007). .... 12
- Figura 2. 3:** Reconstrucción Geotectónica de México para el Jurásico Medio (164 Ma). Se presenta la migración anti-horaria del bloque de Yucatán (Yuc) con respecto a Norteamérica (NA) y la ubicación del polo de Euler Se muestra también la migración del punto triple en la parte, el complejo intracrátónico Guerrero (picos solidos) y la zona de subducción del margen continental latente (picos claros). Los asteriscos muestran las rocas datadas y alineadas del Arco Nazas (traza en V). Abreviaciones: A: Aramberri, B: Cuenca Bisbee, C: Chihuahua, Cab: Bloque Caborca, Coa: Coahuila, CTT: Transformante de Coahuila – Tamaulipas, DS: Bloque del Sur, Tam: Bloque Tampico (Dickinson & Lawton, 2001)..... 13
- Figura 2. 4:** Modelo tectónico que muestra la evolución para el Triásico - Jurásico. Sección esquemática que cruza el norte de México de oeste (W) a este (E). Sin escala (Goldhammer, 1999)..... 14
- Figura 2. 5:** Mapa paleogeográfico del Triásico – Jurásico Inferior, tomado de Goldhammer (1999). Aramberri, está ubicado en una elevación moderada del basamento con tendencia NW – SE, abastecido por rocas del basamento y lechos rojos del Grupo Huizachal (Goldhammer, 1999)..... 15
- Figura 2. 6:** Subdivisión estratigráfica propuestas por diferentes autores para las sucesiones del Mesozoico Temprano, expuesto en la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, Tamaulipas, Mesa Central, San Luis Potosí y Zacatecas (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010)..... 16
- Figura 2. 7:** Esquema generalizado de las relaciones estratigráficas de la parte más inferior de la secuencia del Grupo Huizachal en la Sierra Madre Oriental. Nótese las discontinuidades angulares entre los miembros inferiores y superior para las formaciones El Alamar y La Boca. Con edades ponderadas en la columna de la parte derecha, sin una escala marcada. Abreviaturas: Pgs – Esquistos Granjeno Paleozoico. P-Tr I – Pérmico a Triásico Inferior. Tr u Al – Miembro inferior de la Formación El Alamar Triásico Superior. Tr u Au – Miembro superior de la Formación El Alamar Triásico Superior. JI BI – Miembro inferior de la Formación La Boca Jurásico Inferior. JI Bu – Miembro superior de la Formación La Boca Jurásico Inferior. JmJ Fm. La Joya Jurásico Medio c: Arcilla; sl: Limolita; sa:

Arenisca; gr: Grava; V: volcánico; MBS: superficie delimitada mayor; C: Carbonatos. Θ: Buzamiento de la discontinuidad (tomado de Rubio-Cisneros, 2012). .....	17
<b>Figura 2. 8:</b> Mapa paleogeográfico del Jurásico Medio (Calloviano – Oxfordiano), tomado de Goldhammer (1999). .....	18
<b>Figura 2. 9:</b> Modelo tectónico que muestra la evolución para el Jurásico Tardío (Oxfordiano – Kimmeridgiano). Sección esquemática que cruza el norte de México de oeste (W) a este (E). Sin escala (Goldhammer, 1999). .....	19
<b>Figura 2. 10:</b> Mapa paleogeográfico del Jurásico Tardío (Oxfordiano – Kimmeridgiano), tomado de Goldhammer (1999). .....	20
<b>Figura 2. 11:</b> Modelo tectónico para el Cretácico Tardío (Campaniano – Maaschritiano). Sección esquemática que cruza el norte de México de oeste (W) a este (E). Sin escala (Goldhammer, 1999). .....	21
<b>Figura 2. 12:</b> Columna estratigráfica representativa para la curvatura de Monterrey de la Sierra Madre Oriental (Goldhamer & Johnsson; Michalzik, 1988; modificado por Jenchen, 2007). .....	22
<b>Figura 2. 13:</b> Mapa que presenta la localización en general de todos los altos de basamento existente dentro de la Sierra Madre Oriental (SMO), así como la localización del área de estudio (recuadro rojo). Asimismo, las características tectónicas principales del NE de México, la cubierta volcánica post-Laramide de la Sierra Madre Occidental (modificado de Cross, 2011). .....	24
<b>Figura 2. 14:</b> Columna geológica de Aramberri, Nuevo León (SGM, 2010 clave G14- C87). .....	27
<b>Figura 3. 1:</b> Mapa geológico del área de estudio. (Para mejor apreciación, ver el Anexo V). .....	29
<b>Figura 3. 2:</b> Columna geológica del área de estudio basándose en los datos de campo y en los grupos propuestos por Humphrey & Díaz (1956) y Mixon <i>et al.</i> , (1959). Ver Anexo III, para una descripción más a detalle. Abreviaciones: TR-S: Triásico Superior, Ma: Millones de Años. ....	31
<b>Figura 3. 3:</b> Se presenta el miembro más antiguo de la Formación la Boca A-B) Toba riolítica presenta una pseudoestratificación horizontal y tonalidades color violeta, las líneas rojas punteadas muestran la pseudoestratificación. Las flechas blancas indican cavidades (coordenadas UTM: 2672192m N – 14-0422620m E). .....	33
<b>Figura 3. 4:</b> Sedimentos lutíticos rojizos con alternancia de lutitas con capas de cenizas en coloraciones más claras (coordenadas UTM: 2672510m N – 14-0422463m E). .....	34
<b>Figura 3. 5:</b> A) Componente lutítico de la Formación La Boca con una granulometría fina mostrándose coloraciones moradas. B) componente lutítico con vetillas de cuarzo con espesor de 3 cm de ancho por 50 cm largo, C) maculas de toba de color verde y D) se encuentran lentes areniscas tobaceas con una coloración diferente interesratificado con las lutitas con orientaciones perpendiculares a estas (coordenadas UTM: 2672101m N – 14-0422003m E). .....	35
<b>Figura 3. 6:</b> Muestra fotoperfil I de la Formación La Boca en corte de la carretera que conecta el municipio de Aramberri N.L con el poblado El Mezquital, donde se muestran los paquetes de areniscas con coloraciones moradas que en parte presenta intercalaciones de lutitas con una cubierta o ‘costra’ de material calcáreo de tonos blancos, se muestra también espesores de las capas que va de gruesos a delgados de izquierda a derecha. Asimismo, se puede apreciar en un zoom, el ordenamiento tamaño y arreglo de los granos y la costra del material calcáreo (Letras A-A’ correspondiente al perfil estratigráfico A del Anexo I, las líneas punteadas verdes representan el acomodo de las capas, la línea de color rojo la escala y la línea de color negro representa el límite entre la Formación y material cuaternario indiferenciado; coordenads UTM: 2672468m N – 14-0421758m E). .....	36

**Figura 3. 7:** Hacia la cima o techo de la Formación La Boca se pueden presentar, A) Areniscas de grano medio con algo de laminación de la Formación La Boca, B) Areniscas de grano grueso, que en los que se pueden reconocer simple vistas granos de cuarzo (coordenadas UTM: 2672753m N – 14-0422190m E)..... **37**

**Figura 3. 8:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación La Boca, donde “n” representa el numero de datos tomados, A) Clave B-2.- Lutitas y areniscas B) Clave B-06. - Lutitas con intercalaciones de cenizas C) Clave B-09.- Toba riolitica.. **38**

**Figura 3. 9:** A) Formación la Joya con coloraciones verdosas conformado por clastos que se pueden reconocer a simple vista con menos alteración donde se puede observar que en la base presenta fragmentos con tamaños más grande mientras que en el techo de la unidad aparecen con tamaños más reducidos. Las Líneas rojas representan las pseudoestratificación, B) Se logran apreciar ciertos granos de tamaños de 2 o 3 cm, pero con tonalidades más claras naranjas o amarillas debido a que se encuentra con mayor alteración (coordenadas UTM: 2672472m N – 14-0422376 m E)..... **40**

**Figura 3. 10:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación La Joya, donde “n” representa el numero de datos tomados, A) Clave J-I, B) Clave J-II, C) Clave J-III..... **41**

**Figura 3. 11:** Caliza de la Formación Novillo, donde se puede apreciar el tamaño de los estratos, así como las intercalaciones de los horizontes lutíticos y calcoareníticos (coordenadas UTM: 2672141m N – 14-0422010m E)..... **42**

**Figura 3. 12:** Se puede observar el contacto de la Formación Novillo (cima) subyaciendo transicionalmente a la Formación La Joya (coordenadas UTM: 2672141m N – 14-0422010m E)..... **43**

**Figura 3. 13:** Diagrama de Schmidt con con clave N-01 que muestra las mediciones estructurales de la Formación Novillo y donde “n” representa el numero de datos tomados..... **43**

**Figura 3. 14:** Afloramiento perteneciente a la base de la Formación Olvido para el área de estudio, mostrando intercalaciones de calizas y areniscas de espesores delgados 10 – 20 cm (coordenadas UTM: 2672343m N – 14-0422093m E)..... **45**

**Figura 3. 15:** Marcas de erosión que forman un tipo de sistema de flujo, A) Estratificación laminar, B) Estratificación cruzada, correspondiente a las areniscas de grano medio a grueso, de la Formación Olvido (coordenadas UTM: 2672399m N – 14-0422082m E)..... **46**

**Figura 3. 16:** A-B) Fracturamiento y cizallamiento interno de las areniscas que este mismo es rellenado por vetillas de cuarzo (coordenadas UTM: 2672262m N – 14-0422063m E)..... **46**

**Figura 3. 17:** Paquetes de areniscas altamente fracturadas de la Formación Olvido, paquetes de 50 a 10 cm de espesores. Ver Anexo I, fotoperfil II (coordenadas UTM: 2672616m N – 14-0422190m E)..... **47**

**Figura 3. 18:** Unidad de yesos que conforma el techo de la Formación Olvido (coordenadas UTM: 2673118m N – 14-0422071m E)..... **47**

**Figura 3. 19:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación Olvido, donde “n” representa el numero de datos tomados, A) Clave O-06. B) Clave O-13 en color azul fracturamiento en dirección (W-E) y morada la segunda dirección representada en color rosa muestra la dirección (NE-SW). ..... **48**

**Figura 3. 20:** Caliza masivas con carstificación de la Formación Zuloaga (coordenadas UTM: 2673199m N – 14-0422226m E)..... **50**

**Figura 3. 21:** Caliza con presencia con carstificación de la Formación Zuloaga (coordenadas UTM: 2673203m N – 14-0422215m E) .. **50**

**Figura 3. 22:** Caliza masiva de colores oscuros de la Formación Zuloaga (coordenadas UTM: 2673177m N – 14-0422260m E) ..... **51**

<b>Figura 3. 23:</b> Formación La Casita A) Lutitas muy laminadas de color gris claro B) Calizas arcillosas C) Nódulos de fosfatos embebidos en caliza arcillosa (coordenadas UTM: 2673239m N – 14-0422043m E).....	<b>53</b>
<b>Figura 3. 24:</b> Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación La Casita, donde “n” representa los datos tomados, A) Clave LC-01. B) Clave LC-03 .....	<b>54</b>
<b>Figura 3. 25:</b> A) Modelo de depositación para los Grupos Huizachal y Zuloaga para el Jurásico, B) Esquema estratigráfico de un sistema de rift. Donde en áreas bajas ( <i>graben</i> s) se presentan los depósitos carbonatados y evaporíticos, mientras que en los altos ( <i>horst</i> ) se presentan unidades clásticas (modificado de Sandstrom, 1982).....	<b>55</b>
<b>Figura 4. 1:</b> Esquema de la estructuración de una roca detrítica (Arribas, J., 2010).....	<b>56</b>
<b>Figura 4. 2:</b> Graficas con el porcentaje en promedio de los componentes petrográficos para las formaciones clásticas del área de estudio. Azul: Qt, Negro: K, Verde: P, Morado: M, Naranja: Lt, Amarillo: Cm, Celeste: Ox.....	<b>60</b>
<b>Figura 4. 3:</b> Madurez textural pobre con una clasificación de granos < 0.5mm, angulosos mal sorteados de A – B) cuarzos (Qm, Qmo, Qp), feldespatos (K, P), además están presentes en menor cantidad Micas (Bt y Ms) y Líticos (Lv y Ls). Los granos se encuentran embebidos por cemento constituido por arcillas y óxidos de Fe. Aumento de 2.5x, C ) Biotita, Cuarzos (Qmo, Qmr), en un aumento de 10x. Abreviaciones NX= Nicles cruzados y NII= Nicles paralelos. ....	<b>61</b>
<b>Figura 4. 4:</b> Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qmr), Feldespatos (K) y minerales densos (Zr) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 10x. Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos. ....	<b>62</b>
<b>Figura 4. 5:</b> Madurez textural pobremente clasificada inmadura con granos subangulosos sin contacto y consta en su mayoría de A – B) cuarzos (Qmr, Qmo), Feldespatos (Plg, K), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos. ....	<b>62</b>
<b>Figura 4. 6:</b> Madurez textural moderadamente clasificada con granos subredondeados y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qmr, Qp, Qmo), Feldespatos (Plg, K), Líticos volcánico (Lv) en menor proporción micas (Bt) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. C – D) cuarzos (Qmo, Qmr, Qp) feldespatos (K), Biotita (Bt), Pedernal (Ch) y óxidos de Fe, aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos. ....	<b>63</b>
<b>Figura 4. 7:</b> Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qmr), Feldespatos (Plg) y líticos volcánicos (Lv), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos .....	<b>64</b>
<b>Figura 4. 8:</b> Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qmr, Qmo, Qp), Feldespatos (Plg, K), Pedernal(Ch), Líticos (Lv – Ls) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, C) Feldespatos (Plg, K), cuarzos (Qmr, Qp), pedernal (Ch) con óxidos de Fe, D) Feldespatos y Cuarzos. Aumento 4x, Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos.....	<b>65</b>
<b>Figura 4. 9:</b> Madurez textural pobre clasificación, con granos subredondeados sin contacto entre granos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm, Qmo), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi) embebidos por cemento arcilloso con óxido de Fe, aumento 2.5x. Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos .....	<b>66</b>
<b>Figura 4. 10:</b> Madurez textural pobremente clasificada con granos subredondeados sin contacto entre granos y consta en su mayoría de A) cuarzos (Qmr), Feldespatos (Plg), Líticos (Lv) en menor cantidad micas (Bi) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe,	

- aumento 2.5x, B) Pedernal (*Chert*), Feldespatos (K), aumento 2.5x, C) Lítico volcánico, aumento 10x, D) Mica glauconítica y Lítico volcánico, aumento 10x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos ..... 67
- Figura 4. 11:** Madurez textural pobremente clasificada, con granos subredondeados sin contacto entre ellos y consta en su mayoría de A – B) cuarzos, Feldespatos, Pedernal (Ch), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 2.5x, C) Cuarzos policristalinos (Qp2-3, Qp>3), Cuarzo onduloso (Qmo) aumento 2.5x, D) Lítico volcánico con feldespatos, aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos..... 68
- Figura 4. 12:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzos (Qmr, Qmo), Feldespatos (K), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos..... 69
- Figura 4. 13:** Madurez textural pobremente clasificada, inmadura con granos subanguloso con poco contacto que consta en su mayoría de A) cuarzo (Qmo), Feldespatos (Plg, K), Circon (Zr) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. B) Lítico volcánico, Biotita, (Bt) y feldespatos (K), Líticos volcánicos, aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos..... 69
- Figura 4. 14:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subanguloso y presentan fracturas en su interior y consta en su mayoría de A – B) cuarzos (Qmr), Feldespatos (Plg, K), Líticos (Lv – Ls) en menor cantidad Biotitas (Bt) y Pedernal (Ch), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos . 70
- Figura 4. 15:** Madurez textural pobre a moderada clasificación, con clastos sub – redondeados, constituidos por A – B) cuarzos (Qm, Qmo, Qp), feldespatos (K, P), en menor cantidad se encuentran presentes algunos muy poco contenido de Líticos (Lv y Ls) estos embebidos en cemento constituido por arcillas, cloritas y poco óxido de Fe. Aumento de 2.5x, C) Cuarzo (Qmo) en un aumento de 10x, D) Líticos volcánicos, pedernal (Ch) y Cuarzo policristalino (Qp 2-3) en un aumento de 4x. Abreviaciones NX= Nicoles cruzados y NII= Nicoles paralelos. .... 71
- Figura 4. 16:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subredondeados y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm, Qp, Qp>3), Feldespatos (P, K), Líticos (Ls) en menor proporción micas (Bt) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. C – D) cuarzos (Qmr), feldespatos (K, Plg), pedernal (Ch) y óxidos de Fe, aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos..... 72
- Figura 4. 17:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A) cuarzo (Qm, Qmo, Qp, Qp>3), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv, Ls) en menor proporción micas (Bt) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 2.5 x. B) Cuarzos (Qmr), Lítico volcánico (Lv), Feldespato (K), aumento 4x. C) Cuarzos (Qmo, Qmr), Feldespatos (K) y micas (Bt), aumento 4x, D) Cuarzo policristalino (Qp>3), aumento 10x, Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos ..... 73
- Figura 4. 18:** Madurez textural moderado a buena clasificación con granos angulosos que se mantienen en contacto puntal y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi), se tiene así mismo poco contenido de cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 2.5x. C) Micas glauconíticas, Plagioclasas con maclas polisintéticas, Feldespatos (K), Cuarzos (Qmr, Q2-3), aumento 4x. D) Microclina (K), Cuarzo (Qmr), saumento en 10x. Abreviaciones Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos ..... 74
- Figura 4. 19:** Madurez textural es de moderada a buena clasificación con granos muy angulosos que se mantienen en contacto puntal constituidos en su mayoría de A – B) cuarzos (Qmr), Feldespatos (Plg, K), en menor cantidad micas (Bi) y presencia de Líticos (Lv),

se tiene como también, poco contenido de cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 2.5x, C – D) Litítico volcánico con feldespatos rodeado por el esqueleto que constituye la lámina, aumento 2.5x. Abreviaciones Nx= Nícoles cruzados, NII= Nícoles paralelos..... 75

**Figura 4. 20:** Madurez textural es de moderada clasificación con granos angulosos que se mantienen en contacto puntal y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm, Qp), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi, Ms), además de minerales densos (HM) como circón, embebidos por cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 2.5x, C) Plagioclasa con macla polísintética, aumento 4x, D) Litítico volcánico, aumento 4x, E) cuarzo monocristalino con un borde alterado por feldespato, aumento 10x, F) Litico sedimentario, aumento 10x. Abreviaciones Nx= Nícoles cruzados, NII= Nícoles paralelos ..... 76

**Figura 4. 21:** Madurez textural de moderada clasificación con granos sub – angulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm, Qmo, Qp2-3 y Qp>3), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi, Ms) embebidos por cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nícoles cruzados, NII= Nícoles paralelos ..... 77

**Figura 4. 22:** Diagrama QFL + Ch el cual exhibe el tipo de rocas que representan las muestras analizadas para el área de estudio (según Füchtebauer, 1988; modificado por Jenchen & Rosenfeld, 2002..... 81

**Figura 4. 23:** Diagrama QFL el cual exhibe el tipo de rocas que representan las muestras analizadas para el área de estudio (según Folk *et al.*, 1974)..... 82

**Figura 4. 24:** Diagramas de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte al que representan las formaciones analizadas para el área de estudio A) Diagrama QFL, B) Diagrama QFLt. (Dickinson *et al.*, 1983). ..... 83

**Figura 4. 25:** Diagrama triangular QmPK para la procedencia de sedimentos, las flechas discontinuas indican el incremento de la madurez (Dickinson & Suczek, 1979) ..... 84

**Figura 5. 1:** Ubicación del ambiente de depósito (modelo de Wilson, 1975) con algunas características para las formaciones del Jurásico, basados en antecedentes..... 87

**Figura 5. 2:** Clasificación para Microfacies de rocas carbonatadas, y a que roca terrígena se puede relacionar, (según Folk, 1962) ..... 88

**Figura 5. 3:** Clasificación para Microfacies de rocas carbonatadas, según Dunham (1962), Embry & Klovan (1972)..... 89

**Figura 5. 4:** A) NOVILLO-01, *Mudstone* con pequeños bioclastos indeterminados, en un aumento de 2.5x, B) NOVILLO-02, *Mudstone* con restos de organismos pobremente indentificable, en un aumento de 2.5x. Abreviaciones, NII= Nícoles paralelos ..... 91

**Figura 5. 5:** A – B) NOVILLO-03, *Grainstone* con miliólidos y ooides, en un aumento de 2.5x y 10x respectivamente. Abreviaciones, NII= Nícoles paralelos ..... 92

**Figura 5. 6:** A – B) NOVILLO-04, *Wackestone* con bioclastos recristalizados indeterminados, en un aumento de 2.5x y 10x respectivamente, en un aumento de 2.5x. Abreviaciones, NII= Nícoles paralelos ..... 93

**Figura 5. 7:** A – B) NOVILLO-05, *Wackestone* con posible bioturbación y bioclastos, en un aumento de 2.5x ..... 94

**Figura 5. 8:** A – B) ZULOAGA-02, *Wackestone* con bioclastos, gasterópodos, en un aumento de 4x. Abreviaciones, NII= Nícoles paralelos..... 95

**Figura 5. 9:** A – B) ZULOAGA-03, *Wackestone* con pequeños bioclastos indeterminados y cristales de subanguloso, en un aumento de 2.5x. Abreviaciones, NII= Nícoles paralelos ..... 96



<b>Figura 5. 10:</b> A – B) ZULOAGA-04, <i>Grainstone</i> con ooides, en un aumento de 4x. Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos.....	<b>97</b>
<b>Figura 5. 11:</b> A– B) ZULOAGA-05, <i>Wackestone</i> con pequeños bioclastos indeterminados, en un aumento de 2.5x, en un aumento de 2.5x. Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos. ....	<b>98</b>
<b>Figura 5. 12:</b> A– B) ZULOAGA-06, <i>Grainstone</i> con ooides, en un aumento de 10x, Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos.....	<b>99</b>
<b>Figura 5. 13:</b> A– B) ZULOAGA-07, <i>Mudstone</i> con escasos contenido en aloquímico, en un aumento de 2.5x. Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos. ....	<b>100</b>
<b>Figura 5. 14:</b> Modelo del ambiente deposicional propuesto para la formaciones Novillo y Zuloaga, en el área del Cerro La Cruz, Aramberri, N.L.....	<b>102</b>
<b>Figura 6. 1:</b> A) Triturador de tipo <i>Sibetechnik EB 7/6</i> , B) Molino de ágata de tipo <i>Siebtechnik Ts 100 A</i> .....	<b>104</b>
<b>Figura 6. 2</b> Clasificación geoquímica con relaciones de $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs $\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ de las areniscas del Cerro La Cruz en Aramberri, Nuevo León. (Herron, 1988).....	<b>110</b>
<b>Figura 6. 3:</b> Clasificación geoquímica con relaciones de $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs $\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ de las areniscas del Cerro La Cruz en Aramberri, Nuevo León. Pettijohn (1963; 1987).....	<b>111</b>
<b>Figura 6. 4:</b> Clasificación geoquímica con relaciones de $\text{Na}_2\text{O}$ vs $\text{K}_2\text{O}$ de las areniscas del Cerro La Cruz en Aramberri, Nuevo León. Jenchen (2001).....	<b>112</b>
<b>Figura 6. 5:</b> Diagrama ternario <i>CIA</i> para el intemperismo de $(\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ (Nesbitt & Young, 1982), los rectángulos negros representan protolito máfico o félsico y los círculos en negro representan minerales. ....	<b>115</b>
<b>Figura 6. 6:</b> Diagrama binario $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ vs $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ según Roser & Korsch (1986). ....	<b>118</b>
<b>Figura 6. 7:</b> Diagrama binario $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ vs $\text{SiO}_2$ según Roser & Korsch (1986). ....	<b>119</b>
<b>Figura 6. 8:</b> Diagrama binario propuesto por Jenchen (2000) en la cual presenta la relación $\text{Ti}/\text{Nb}$ vs $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ .....	<b>121</b>
<b>Figura 6. 9:</b> Diagrama binario propuesto por McLennan <i>et al.</i> , (1993) modificado por Jenchen (2001) en la cual presenta la relación $\text{Zr}/\text{Sc}$ vs $\text{Th}/\text{Sc}$ , A) Patrón de incremento del reciclamiento para la Formación La Boca, B) Patrón de incremento del reciclamiento para la Formación La Joya, C) Patrón de incremento del reciclamiento para la Formación Olvido. Las Líneas indican la posición de base a techo. ....	<b>122</b>
<b>Figura 6. 10:</b> Diagrama para discriminar ambientes tectónicos para rocas de las formaciones La Boca, La Joya y Olvido basados en las relaciones A) $\text{La}-\text{Th}-\text{Sc}$ y B) $\text{Co}-\text{Th}-\text{Zr}/10$ según Bathia & Crook (1986) .....	<b>123</b>
<b>Figura 6. 11:</b> Diagrama de lantánidos, normalizados a condrita, para las Formaciones A) La Boca, B) La Joya y C) Olvido. Los valores indican el intervalo de la anomalía de Eu, el % $\text{SiO}_2$ y $[\text{La}/\text{Yb}]_N$ . Datos de normalización tomados de Taylor & McLennan (1985). ....	<b>126</b>
<b>Figura 6. 12:</b> Graficas bivariantes para el $\text{CaCO}_3$ , donde se presenta en relación con otros componentes y elementos A) $\text{CaCO}_3/\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , B) $\text{CaCO}_3/\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , C) $\text{CaCO}/\text{CaO}$ , D) $\text{CaCO}_3/\text{CO}_2$ , E) $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$ . Todos los valores se encuentran en % en peso. Donde r es el valor estimado del coeficiente de correlación. ....	<b>130</b>
<b>Figura 6. 13:</b> Graficas bivariantes para el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , donde se presenta en relación con otros componentes y elementos A) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , B) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{CaO}$ , D) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{CO}_2$ , E) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{SiO}_2$ . Todos los valores se encuentran en % en peso. Donde r es el valor estimado del coeficiente de correlación. ....	<b>132</b>

**Figura 6. 14:** Diagramas de variación multielemento SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LOI (*Loss on Ignition*) y CO<sub>2</sub>, tipo Harker, donde se presenta en relación de estos elementos, A) SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>, B) SiO<sub>2</sub>/CaO, C) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y D) SiO<sub>2</sub>/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, E) SiO<sub>2</sub>/MgO, F) SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O, G) SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O, H) SiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, I) SiO<sub>2</sub>/LOI, J) SiO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. Todos los valores se encuentran en % en peso. . **134**

**Figura 7. 1** A) Reconstrucción paleogeográfica en México durante el Jurásico donde se tiene las diferentes sistemas y estructuras que operaban para ese tiempo (sistemas activos- pasivos, altos de basamento, cuencas). B) Se muestra el ambiente tectónico para el Jurásico teniendo para la parte oeste un margen continental activo denominado como Arco Jurásico mientras que para la parte este se encuentra dominada por una margen pasiva relacionada a la apertura del Golfo de México. Se presentan asimismo las unidades que dominan durante el Jurásico. Flechas moradas: indican el posible área de aporte para la composición de los sedimentos que se tiene para el área de estudio, Estrella roja: indica el área de estudio, N: Norte. .... **138**

## Listado de Tablas

<b>Tabla 3. 1:</b> Listado y descripción general de muestras pertenecientes a las formaciones presentes en el área de estudio (asteriscos muestra el análisis que se llevó a cabo).....	<b>30</b>
<b>Tabla 4. 1:</b> Parámetros petrográficos más frecuentes empleados en distintos diagramas composicionales.....	<b>58</b>
<b>Tabla 4. 2:</b> Resultados de los parámetros contabilizados y recalculados. Todos los valores se encuentran en valores porcentuales. Las claves para las abreviaturas se encuentran en la tabla 4.1.....	<b>78</b>
<b>Tabla 4. 3:</b> Resultados de los parámetros contabilizados y recalculados para la utilización de diagramas triangulares. Todos los valores se encuentran en valores porcentuales. Las claves para las abreviaturas se encuentran en la tabla 4.1.....	<b>79</b>
<b>Tabla 4. 4:</b> Tipos de procedencia, ambiente tectónico y características composicionales de las arenas asociadas. Según Dickinson, 1985 ..	<b>80</b>
<b>Tabla 6. 1:</b> Composición química de las areniscas con valores de elementos mayores (%m/m), trazas (ppm) y relaciones de elementos inmoviles para el área de estudio.....	<b>106</b>
<b>Tabla 6. 2:</b> A) Tabla de conversión estequiometrica propuesta por Henrich & Hermann (1990), B) son valores que se consideran para el calculo para la muestra BOCA-01 de los resultados geoquímicos medidos. ....	<b>113</b>
<b>Tabla 6. 3:</b> Concentraciones recalculadas a partir del CO <sub>2</sub> con estimaciones de calcita, dolomita, apatito y CaO* contenido en la fracción silicatada, como también los porcentajes finales del índice de alteración química (CIA) de las Formaciones clásticas (Formación, La Boca, La Joya y Olvido) del área de estudio. ....	<b>116</b>
<b>Tabla 6. 4:</b> Clasificación de ambientes tectónicos, cuencas de depósito y tipo de procedencia relacionada a partir de la concentración de elementos mayores en rocas sedimentarias detríticas (Bathia & Crook, 1983).....	<b>117</b>
<b>Tabla 6. 5:</b> Valores de normalización de condritas de corteza continental (concentraciones en ppm; Taylor & McLennan, 1985) .....	<b>124</b>
<b>Tabla 6. 6</b> Composición química de las calizas con valores de elementos mayores (%m/m), trazas (ppm) para el área de estudio. ....	<b>127</b>
<b>Tabla 6. 7:</b> Concentraciones estimadas para de calcita, dolomita, apatito, estos valores fueron recalculadas a partir de valores de conversión estequiometrica propuesta por Henrich & Hermann (1990). ....	<b>129</b>

## Resumen

El área de Aramberri, Nuevo León se localiza dentro de la provincia morfotectónica de la Sierra Madre Oriental. La evolución paleosedimentaria durante el Jurásico de esta provincia tuvo una gran influencia por la existencia de los altos de basamento (Isla de Coahuila, Isla de la Mula, Arco de Tamaulipas, Alto de Aramberri) en la parte noreste de México. La litología principal del área Aramberri, Nuevo León se encuentra conformada por rocas sedimentarias (terrágenas continentales, marinas y carbonatadas) de edad mesozoica, que descansan discordantemente sobre un basamento Paleozoico. Las Formaciones La Boca, La Joya (Grupo Huizachal), Novillo, Olvido y Zuloaga (Grupo Zuloaga) marcan en este contexto las primeras transgresiones marinas antes de la formación de una cuenca marina extensa (Formación La Casita) en el Jurásico Tardío.

El presente estudio tuvo por objetivo realizar una revisión de las unidades del Jurásico a través de análisis petrográfico-geoquímico-microfacial para las rocas terrígenas y carbonatadas, para así deducir el tipo de roca, áreas fuentes y ambiente deposicional.

Los resultados arrojan que las unidades clásticas cuentan con una textura de grano medio y variaciones de *Grauwaca* > *Litoarenita* > *Arcosa*, cuyos componentes principales son cuarzos monocristalinos–policristalinos, feldespatos, en menor medida, fragmentos líticos, micas y minerales pesados, con un mayor grado de madurez hacia la unidad clástica más joven (Formación Olvido). La composición de las Formaciones La Boca y Joya es de carácter ácida, mientras que para la Formación Olvido indica una fuente intermedia-ácida. En general, las unidades muestran poco grado de transporte y reciclamiento. Las rocas se encuentran asociadas a un ambiente de margen pasivo. Apoyado en modelos ya propuestos, estas rocas se asocian entonces, a la apertura del Golfo de México (basamentos elevados).

Por otra parte, las unidades carbonatadas (Formación Novillo y Zuloaga) presentan texturas *Mudstone–Wackestone* con micrita, esparíta, ooides, miliólidos, gasterópodos, radiolarios y bioturbación, dando referencia a un ambiente deposicional de poca profundidad en plataforma restringida–abierta con circulación de aguas tranquilas (micrita) a moderada (esparíta). La composición para estas rocas tiene un dominio en calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) con proporciones muy bajas de dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y apatito ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), presentando la mayor influencia clástica en la Formación Novillo y un dominio más calcáreo hacia la Formación Zuloaga.

## Abstract

Aramberri, Nuevo León, is located within of the Sierra Madre Oriental morphotectonic province. Paleosedimentary evolution during Jurassic of this province has been strongly influenced by the basement (e.g. Coahuila Block, Mula Island, Tamaulipas Arc, Aramberri Uplift) of the northeastern Mexico. The main lithology in the study area is conformed by sedimentary rocks (continental and marine terrigenous and carbonate rocks) during Mesozoic time. These rocks rest unconformably over a Paleozoic-Precambrian basement. La Boca, La Joya (Huizachal Group) Novillo, Olvido and Zuloaga (Zuloaga Group) Formations represent the evidence of the first stages of marine transgression before the extensive basin (La Casita Formation) was formed at Late Jurassic.

The present study was focused on a revision about the Jurassic sequences, through a petrological-geochemical-microfacies analysis of the terrigenous and carbonate rocks to establish a classification, provenance and environment depositional.

The results indicate that clastics units have a middle grain texture. Texture variations ranging as *Greywacke* > *Lithic Arenite* > *Arkose*, being main components monocrystalline-polycrystalline quartz-feldspar and minor lithic fragments, micas and zircon. The young clastic unit (Olvido Formation) has a major grade of textural maturity. Compositional features of La Boca y La Joya Formations show an acid source and Olvido Formation are linked to intermediate-acid source. Generally, the units show a low-transport grade and recycling. The tectonic setting for these sequences is an active and passive margin, supported by a geological model proposed. These rocks have been attributed to the Gulf of Mexico opening (passive margin and high basement).

On the other hand, carbonate sequences (Novillo and Zuloaga Formations) show a mudstone-wackestone texture with micrite, sparite, ooids, miliolids, gasteropods, radiolarian, bioturbation, referenced to a shallow depositional environment in restricted-open platform with water remains relatively calm (micrite) and moderate (sparite) energy. The composition of these rocks is ruled by dominance in calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) and scarce dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) and apatite ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Novillo Formation shows the major influence clastic and Zuloaga Formation displays a calcareous domain.

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

La evolución paleosedimentaria y la distribución de facies para el área de Aramberri, Nuevo León, estuvo influenciada por la apertura del Golfo de México y por la existencia de un basamento escalonado para el noreste de México, con los siguientes paleoaltos: Isla de Coahuila, Isla de la Mula, Isla Burro-Peyotes, Archipiélago de Tamaulipas y Alto de Aramberri (Longoria, 1985; Padilla y Sánchez, 1982, 1985; Wilson, 1990; Michalzik & Schumann, 1994; Goldhammer, 1999; Eguiluz *et al.*, 2000).

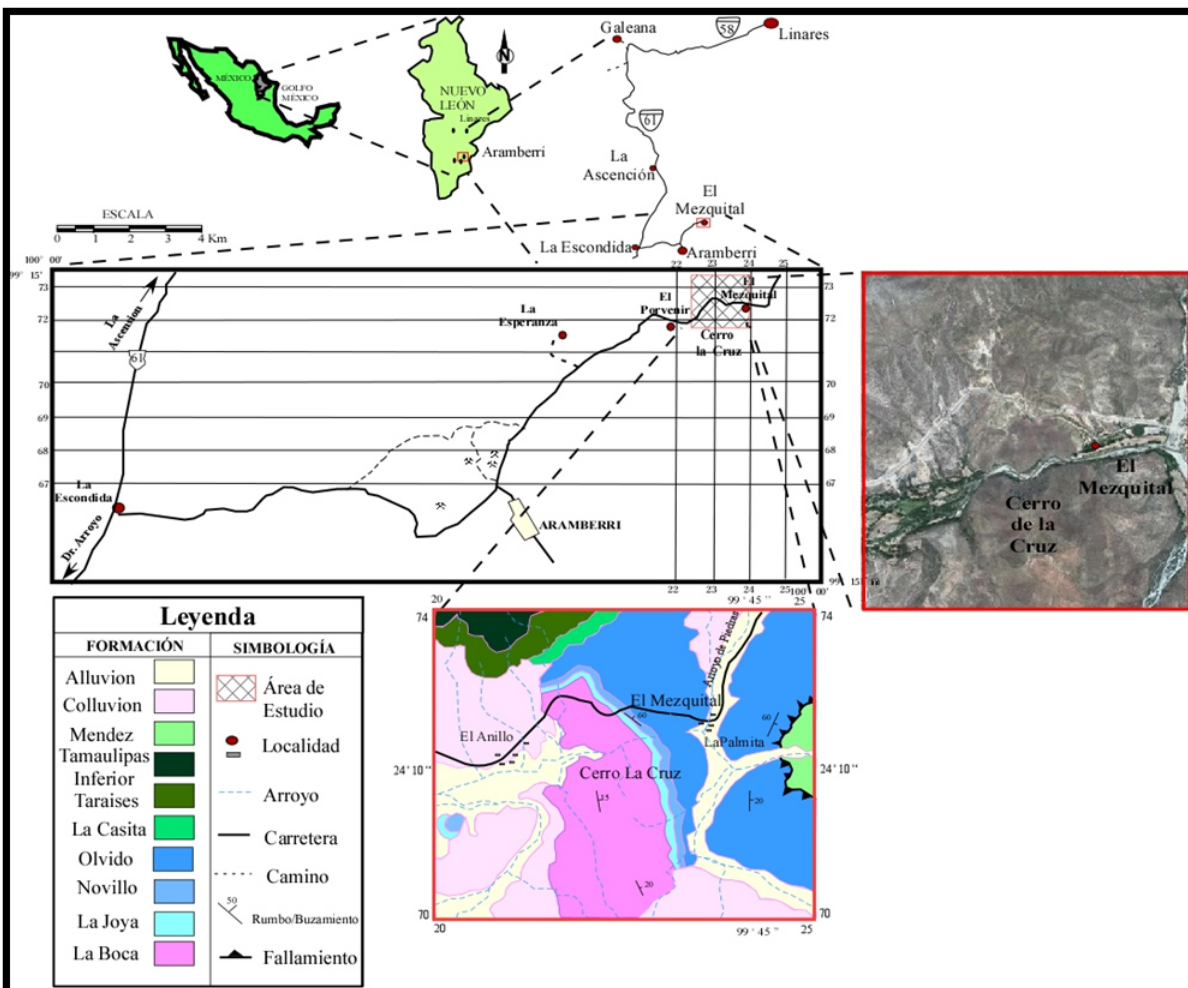
Así mismo, Aramberri Nuevo León se encuentra relacionada con la provincia morfotectónica de la Sierra Madre Oriental, que se conforma por paquetes de rocas mesozoicas y paleozoicas que fueron deformadas hacia el noreste de México, formando pliegues y cabalgaduras durante el evento orogénico Laramide (Eguiluz *et al.*, 2000).

La estratografía del área de estudio se encuentra conformada por rocas sedimentarias (terrígenas continentales, marinas y carbonatadas) de edad jurásica (Michalzik, 1988), que descansan de forma discordante sobre un basamento. Las Formaciones La Boca, La Joya, Novillo, Olvido y Zuloaga marcan en este contexto las primeras transgresiones marinas antes de la formación de una cuenca marina extensa (Formación La Casita) en el Jurásico Tardío.

El objetivo de este trabajo de tesis es realizar una revisión y descripción estratigráfica de las unidades del jurásico (Formaciones La Boca, La Joya, Novillo, Olvido, Zuloaga) a través de análisis petrográfico – geoquímico para las rocas terrígenas, para así deducir procedencia, y una revisión microfacial de las rocas carbonatadas, para determinar el ambiente de depósito.

## 1.2 Localización del área de estudio

El Cerro La Cruz es la zona de interés en este trabajo se encuentra localizado en el noreste de México y sureste de estado de Nuevo León, a ~13 km hacia el oriente de la cabecera municipal de Aramberri, Nuevo León, entre los poblados El Porvenir y El Mezquital. (Figura 1. 1).



**Figura 1. 1:** Localización geográfica, vías de acceso y geología del área de estudio en Aramberri, Nuevo León.

Una forma de llegar al área, partiendo de la ciudad de Linares, N. L., es tomar primero la carretera número 58, que comunica a este municipio con Iturbide y Galeana. Pasando el municipio de Galeana antes de llegar al entronque con rumbo hacia San Roberto, tomar la carretera número 61 que comunica con La Ascensión (La Chona) y La Escondida. Seguir 8 km aproximadamente por la carretera que conecta hacia Aramberri. Después conducir unos 13 km hacia el Noreste hasta llegar al ejido el Mezquital, la cual es donde se encuentra relativamente a unos cuantos metros el Cerro La Cruz.

### 1.3 Justificación del Trabajo

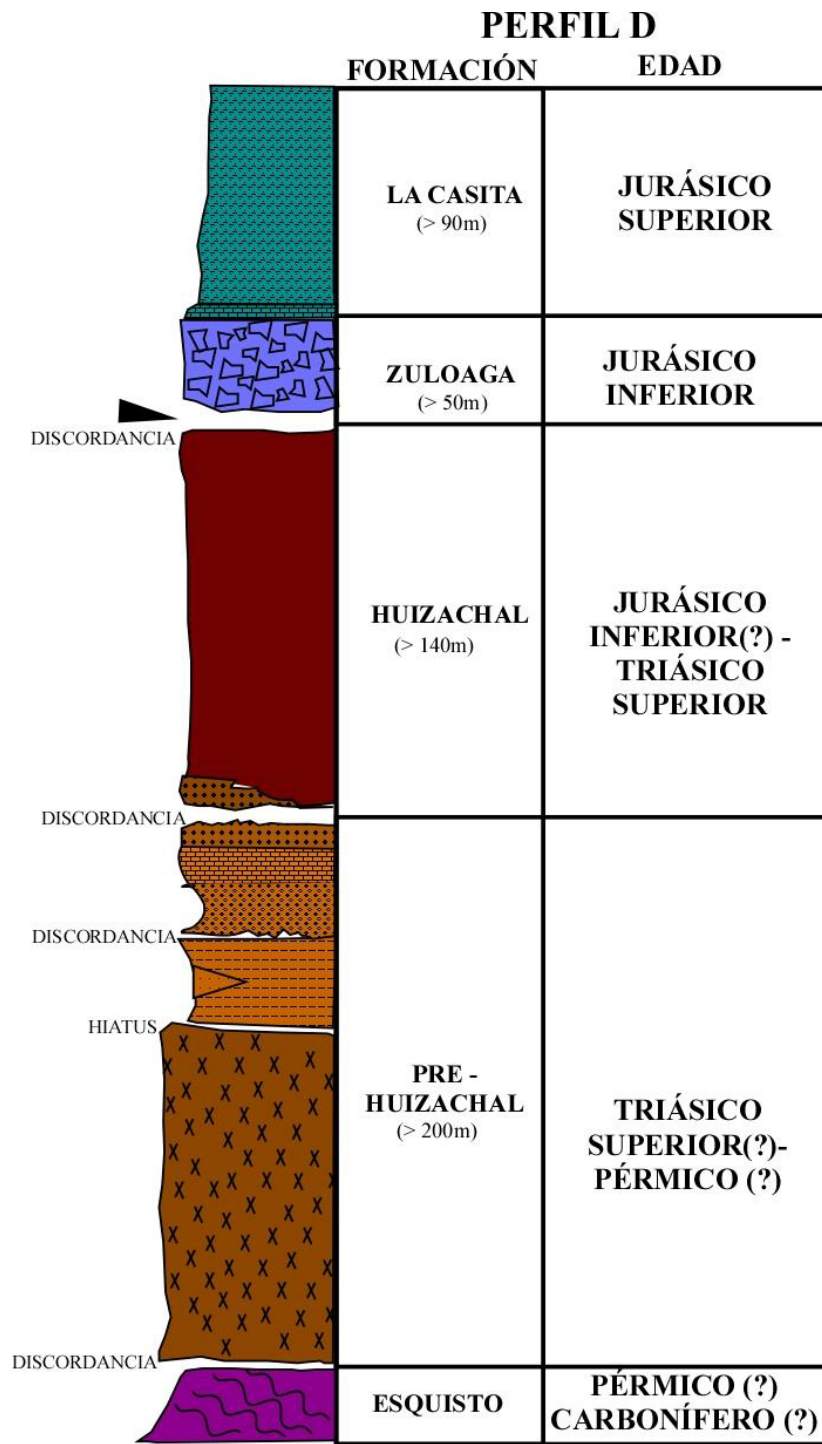
La revisión de literatura de los trabajos realizados en el área de interés, permite las siguientes consideraciones.

La mayoría de los trabajos sólo discuten sobre el basamento aspectos estructurales, petrología en rocas del basamento, etc., por lo que se puede considerar como escasa la información sobre las unidades terrígenas clásticas y carbonatadas que se tiene para el Jurásico. Existen pocos trabajos sobre procedencias de rocas terrígenas. Para el caso de los carbonatos que afloran en el Cerro La Cruz, no existen reportes sobre ambientes de depósito. Por lo tanto requiere generar información petrográfica – geoquímica y microfacial.

Por otra parte, se requiere de una revisión estratigráfica del lugar, tomando en consideración la columna estratigráfica (Figura 1. 2) propuesta por Meiburg *et al.*, (1987) y De León-Gómez (1988) ya que no existe ningún otro registro ni evidencias de lo que ellos denominaron como unidad Pre – Huizachal.

Generar esta información puede contribuir a un mayor conocimiento sobre la evolución geológica del noreste de México y sobre las unidades del Jurásico para el área de interés.

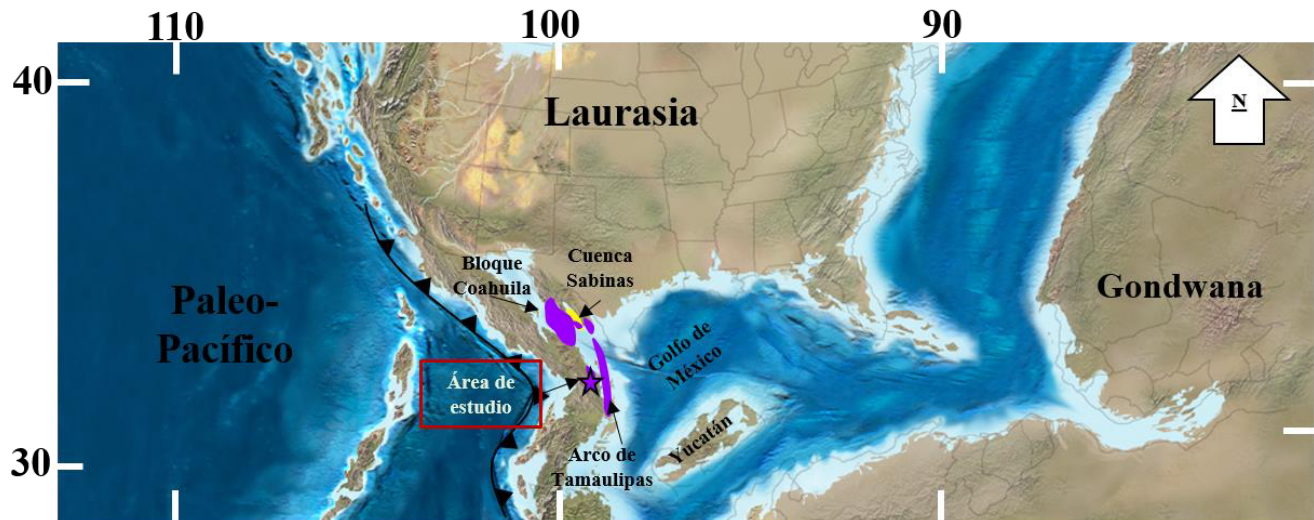




**Figura 1. 2** Columna estratigráfica que representa uno de los perfiles estudiados para una parte del Alto de Aramberri. Modificado de León-Gómez (1988).

## 1.4 Hipótesis de Trabajo

Las rocas siliciclásticas (Formaciones La Boca, Joya y Olvido) del área de estudio se encuentran asociadas con los altos de basamento en la región (Bloque Coahuila, Isla La Mula, Arco de Tamaulipas, Alto de Aramberri; Figura 1. 3). Las unidades carbonatadas (Formaciones Novillo y Zuloaga) se han depositado en un ambiente de cuenca marina somera.



**Figura 1.3:** Paleogeografía para el Jurásico, donde los picos negros representan el arco jurásico mientras que los polígonos de colores expresan los altos (color morado) y cuencas (color amarillo) de basamentos para el Noreste de México (Imagen modificada de *Colorado Plateau Geosystems Website*). La estrella de color morado hace referencia al Alto de Aramberri.

## 1.5 Objetivo

Este trabajo tuvo como objetivo el efectuar una revisión estratigráfica para las formaciones del Jurásico, en una región de Aramberri, Nuevo León. Por esta razón, se generó información sobre la composición de las unidades postulando una clasificación, el tipo área fuente y los ambientes deposicionales. Asimismo, se propuso una nueva columna estratigráfica revisada para el área.

## 1.6 Metas

- Desarrollar una cartografía geológica (escala 1:10,000) para el área de estudio.
- Levantar perfiles geológicos que permiten definir las formaciones geológicas aflorantes en el área de estudio.
- Desarrollar una columna estratigráfica con las formaciones observadas.
- Realizar el análisis petrográfico – geoquímico y microfacial para las muestras que se hayan recolectado.
- Interpretar los datos obtenidos por medio de los análisis antes mencionados, con base en diagramas de discriminación tomados de la literatura.
- Generar un modelo conceptual.

## 1.7 Trabajos Previos

En particular la localidad de Aramberri tanto a nivel regional como local, ha sido objeto de diversos estudios desde estratigráficos, estructurales, paleontológicos y hasta económicos, en los que destacan:

El trabajo pionero en base a una sobrevista de la geología del sur del estado de Nuevo León y en las cercanías de la localidad de Aramberri respecto a la geología **Mullerried (1946)**, describiendo las unidades, los rasgos estratigráficos y la existencia de un basamento metamórfico. Así mismo, **Baker (1971)** presentó estudios geológicos con un enfoque estructural, presentando cartografías con mayor precisión e interpretaciones de cabalgaduras. Además, reportó rasgos fundamentales sobre la tectónica de Aramberri, aunque enfocándose sobre los rasgos estructurales.

Otro de los trabajos que se tuvieron para ese mismo año, pero con una interpretación más regional fue el de **Carrillo-Bravo (1971)**, quien propuso la distinción paleogeográfica que existe, durante el Cretácico Medio, entre la Plataforma de Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Cadena Alta y el Altiplano Central).

Posteriormente, **Tardy, et al. (1975)** demostraron que las relaciones estructurales y paleogeográficas de la Sierra Madre Oriental y la Plataforma de Valles San Luis Potosí muestran rasgos diferentes.

De una manera más local, **Meiburg et al. (1987)**, describieron el basamento cristalino y las unidades que sobreyacen del área de Aramberri, proponiendo tres tipos secuencias:

- 1) **Piso Pre – Salinar**: constituido principalmente por el basamento metamórfico, por una cubierta volcánica-sedimentaria denominada como serie Pre-Huizachal y por último constituida por brechas sedimentarias pertenecientes a la Formación Huizachal. Este evento es anterior a la depositación y acumulación de los yesos del Jurásico Superior.
- 2) **Piso Salinar**: constituidos por sulfatos de la Formación Minas Viejas (Oxfordiano).
- 3) **Piso Post – Salinar**: sujeto por una cubierta de sedimentos marinos (Jurásico Superior – Maastrichtiano)

Posteriormente, **De León - Gómez (1988)**, llevó a cabo una cartografía sobre uno de los flancos del Alto de Aramberri, reportando un reconocimiento litológico sobre el lugar incluyendo el Grupo Pre-Huizachal a una serie de unidades observables en el sitio estudiado.

**Mansilla-Terán (1988)** reportó una cartografía sobre el alto de Aramberri describiendo a detalle la litología del basamento metamórfico, así como las relaciones estratigráficas y proponiendo un modelo sobre el enfoque tectónico el cual domina para el área.

Los estudios con un mayor enfoque en la estratigrafía del Mesozoico (Formación Zacatecas, Nazas, Alamar, La Boca) y sus relaciones en Aramberri y el Noreste de México son los trabajos de **Barboza-Gudiño et al. (1998, 2007, 2008)** con el propósito de obtener una relación en la evolución del ambiente tectónico para el Oeste, Centro y NE de México. Así mismo **Barboza-Gudiño et al. (2010)** propusieron que la Formación El Alamar es de una edad más antigua (Triásico Tardío) y que la Formación La Boca es de una edad más joven (Jurásico Inferior), resolviendo la controversia de **Mixon et al. (1959)** sobre la edad de depósito del Grupo Huizachal.

Temas de enfoque paleontológico se han hecho en las cercanías de Aramberri reportadas por **Buchy et al. (2003)** quienes reportan la columna vertebral de un Pliosaurio descubierto en la Formación La

---

Caja, ayudando así la descripción del Jurásico. **Fisher et al. (2007)** trabajaron con biofacies en la Formación Novillo, reportando el tipo de biota – fauna y deduciendo al tipo de ambiente al que estos pertenecen.

La mineralogía económica de la región de Aramberri, y localidades cercanas a ellas son los trabajos de **Larrabe (1982)** y **Cruz-Gómez et al. (2006)**, donde se propone el tipo de mineralización (Barita) y el papel que juega la litología en la mineralización.

Los trabajos más recientes que se tienen en el área de Aramberri son estudios de procedencia de **Barboza-Gudiño et al. (2011)**. Los autores reportaron las relaciones de edad por medio de dataciones en circones detríticos presentes en el Esquisto Granjeno y la relación tectónica del Mesozoico para el NE de México (Cd. Victoria, Miquihuana/Bustamante, Tamps., y Aramberri, N. L.) propusieron la procedencia de estos, la paleogeografía y facies para ese tiempo. Más Tarde en su tesis doctoral **Rubio-Cisneros (2012)** describió la procedencia de las capas rojas del Grupo Huizachal para ciertas zonas del NE de México, así como su relación tectónica y sedimentaria. Por último, **Torres-Sánchez (2015)** estudió el basamento cristalino, haciendo estudios más a detalle y proponiendo los miembros que conforman el Esquisto Granjeno, el papel geodinámico que juega y sus implicaciones para el noreste de México.

## 1.8 Metodología

Para cumplir con los objetivos y metas anteriormente marcadas se tiene que desarrollar las siguientes actividades.

### 1.8.1 Trabajo de Campo

Elaboración de una cartografía geológica escala 1:10,000 utilizando como base la carta G14-C87 de Aramberri, N.L. del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2008) y equipo geológico de campo.

Ubicación de zonas donde se tenga la mejor disposición de afloramientos, para después levantar perfiles geológicos, datos estructurales, hacer descripciones de las unidades estratigráficas y, por último, muestrear de manera sistemática, tomando en cuenta que las muestras lo más frescas posible.

### 1.8.2 Trabajo de Laboratorio

Elaboración de secciones delgadas de muestras de rocas clásticas y carbonatadas para poder reconocer texturas, tipo de minerales y composición modal de los minerales identificados. Esta información permite efectuar una clasificación de las rocas y deducir su origen. Asimismo, llevar a cabo una revisión microfacial en el caso de los carbonatos para deducir el tipo de ambiente deposicional.

En los Capítulos IV y V se describirá la metodología que se aplico en los análisis petrográficos y microfacial.

Selección de muestras representativas de las unidades clásticas y carbonatada para llevar a cabo el tratamiento de trituración y molienda de rocas (Capítulo VI), obteniendo 100 gramos de muestra en polvo para su posterior análisis químico (laboratorios ACME, Canadá) de elementos mayores (espectrometría de emisión óptica acoplada a plasma inductivamente, *ICP – OES*) y traza (espectrometría de masas acoplada a plasma inductivamente *ICP – MS*), información que se utilizó junto con la petrografía, para la interpretación.

### 1.8.3 Trabajo de Gabinete

Edición de la carta geológica e interpretación de los perfiles y datos estructurales medidos en campo.

Finalmente, análisis de los datos utilizando para eso diagramas de clasificación, discriminación y variación elemental para poder proponer un modelo conceptual.

## 2 GEOLOGÍA REGIONAL

### 2.1 Introducción

El área de estudio se encuentra ubicada en la región noreste de México, siendo una zona importante desde el punto de vista tectónico, geológico, estructural, estratigráfico y paleontológico.

México hablando tectónicamente está compuesto por un rompecabezas de diversos terrenos que registran una historia geodinámica compleja desde el Mesoproterozoico (~1.3 Ga) al presente (Sedlock *et al.*, 1993; Goldhammer, 1999; Dickinson & Lawton, 2001; Keppie, 2004).

La evolución tectónica del país inició con la unión de los continentes de Laurasia (Norteamérica) y Gondwana (Sudamérica) formando un ensamble a nivel supercontinente durante el Paleozoico Superior.

Posteriormente, ocurrió la dispersión del supercontinente Pangea y desarrollo de un mega-abanico marino (*Potosí Fan*; Figura 2.1 A) durante la instauración un margen pasivo en la parte Este del país (Anderson & Schmidt, 1983; Molina Garza *et al.*, 1992; Godlhammer *et al.*, 1991; Goldhammer, 1999; Dickinson & Lawton, 2001; Pindell & Kennan, 2002; Barboza-Gudiño, 2010). Mientras tanto, para la parte Oeste se tenía un margen activo que dio lugar a vulcanismo (Arco Nazas), acreción de terrenos exóticos (terreno Guerrero) y deformación (Laramídica) con componentes de esfuerzos que marcaron a las rocas del NE de México, provocando una contracción estructural en las unidades en forma de piel gruesa (*thick – skinned*) y piel delgada (*thin - skinned*) (Mesozoico; Campa & Coney, 1985; Sedlock *et al.*, 1993; Tardy *et al.*, 1994; Ortega-Gutiérrez, 1995, Eguiluz, *et al.*, 2000, Centeno-García, *et al.*, 2008). Este tectonismo es el que controla la sedimentación del Mesozoico, ahora expuesta en el noreste de México (Goldhammer *et al.*, 1991).

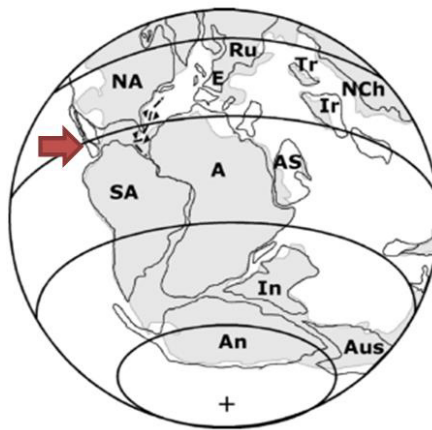
La actividad tectónica dominante durante el Jurásico proporciona algunos de los rasgos geológicos que caracterizan el área de estudio, por lo que es importante el papel que juega la evolución tectónica de este período.

## 2.2 Tectónica del Jurásico para el Noreste de México

La tectónica del Jurásico estuvo asociada poco después del cierre del Océano Rheico y la orogénesis Ouachita – Marathon, al ensamble del supercontinente Pangea (Permo –Triásico). A partir del ensamble, la sedimentación estuvo controlada en gran parte por la apertura del Golfo de México y por un mega sistema fluvial-marino (Goldhammer & Johnson, 2001; Pindell & Kennan, 2002; Fillon R., 2007; Barboza-Gudiño *et al.*, 2010). Esta dispersión se dio en dos etapas principales: (1) la etapa de *rift* que trajo consigo extensión *sin – rift* y un mega-drenaje fluvial, adelgazamiento cortical, desarrollo de altos y cuencas estructurales, contracción temprana *post – rift* e inversión de la cuenca, además subsidencia por sedimentos dentro la cuenca, (2) la etapa de *drifting* caracterizada por el desarrollo de una margen pasiva (Michalzik, 1985; Davis, 2005).

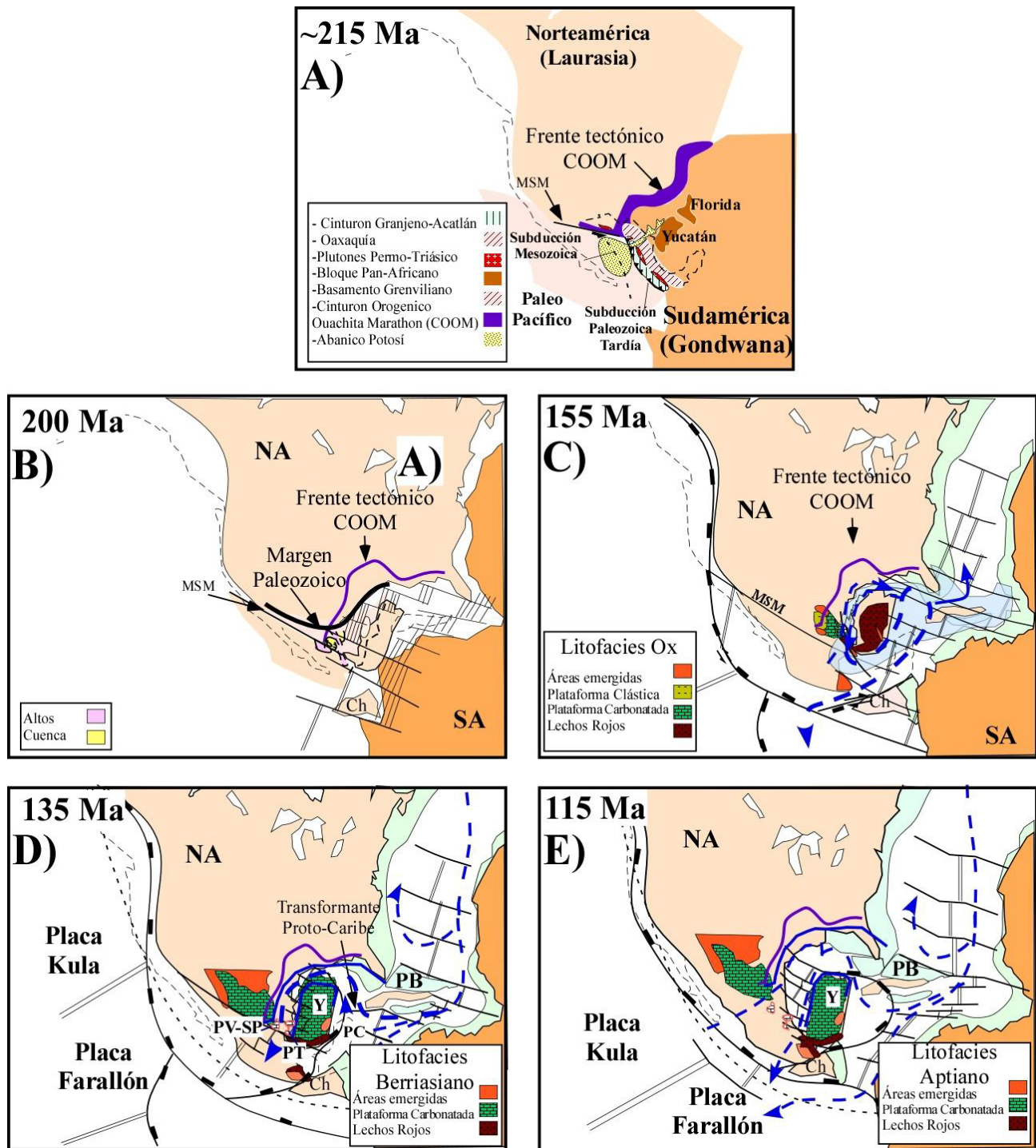
### 2.2.1 Etapa de apertura (*rifting*) y secuencias del Jurásico Temprano – Medio para el Noreste de México

Durante la primera etapa, entre el norte y sur de América durante el Mesozoico Medio, inicia el rompimiento o la apertura (*Rifting*) del supercontinente Pangea, el desarrollo de sistema de tipo abanico fluvial (*Potosí Fan*) para la parte oeste (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010; Figura 2.2 A), así como la formación del proto – Golfo de México (Triásico Tardío) Figura 2. 1 y Figura 2. 2 B.



**Figura 2. 1:** Paleogeografía global representativa del Triásico y la etapa de apertura entre Norteamérica y Sudamérica (flecha roja indica donde se llevó acabo el evento tectónico) **Abreviaciones:** NA: Norteamérica, SA: Sudamérica, Ru: Rusia, E: Europa, A: África, AN: Antártica, Tr: Turquía, AS: Arabia Saudita, In: India, Ir: Irán, NCh: Norte de China, Aus: Australia (Keppie, 2004).

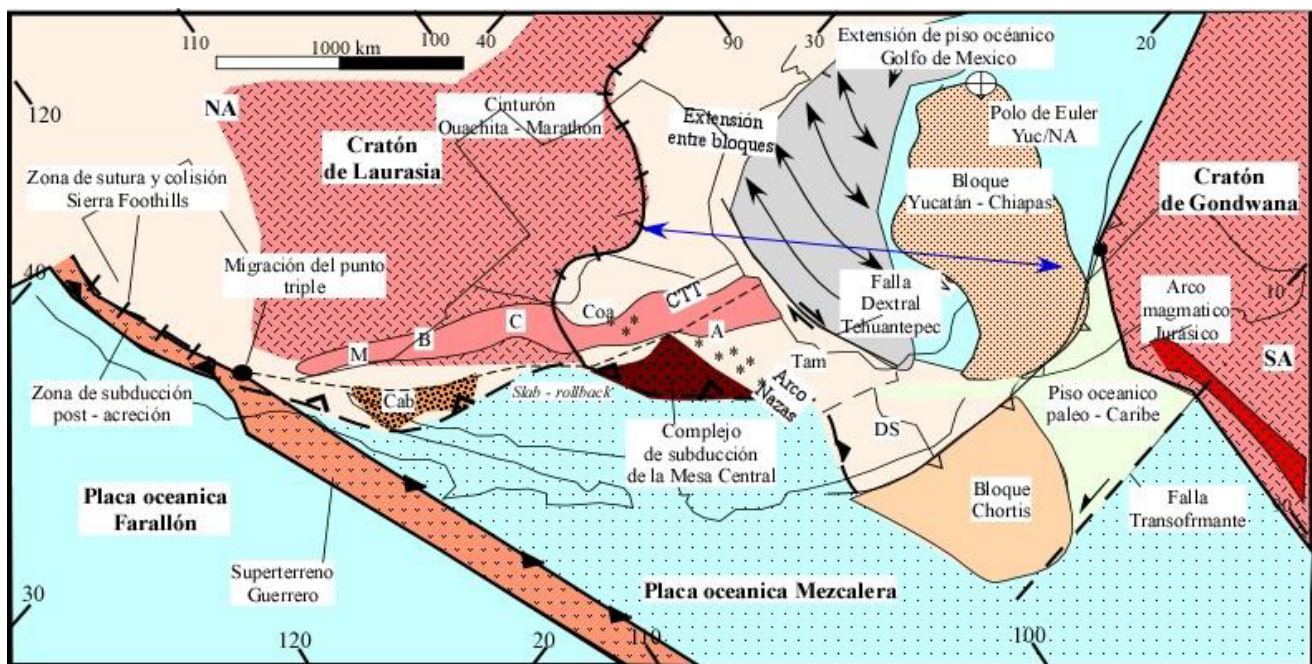




**Figura 2. 2** Reconstrucción geotectónica del Golfo de México del Triásico Tardío al Cretácico Medio A) Reconstrucción paleogeografía de México durante la depositación del Abanico Potosí del Triásico Tardío (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010). B-E). Muestra los límites de placas, los sistemas deposicionales para la época (litofacies) y con flechas azules muestra el sistema de las paleocorrientes. **Abreviaciones:** NA: Norteamérica, SA: Sudamérica, PC: Proto-Caribe, Y: Yucatán, Ch: Chorits, PV-SP: Plataforma Valles-San Luis Potosí, PT: Plataforma Tampico – Misantla, PB: Plataforma Bahamas, MSM: Megacizalla Mojave-Sonora, COOM: Cinturón Orogénico Ouachita- Marathon. (Fillon, 2007).

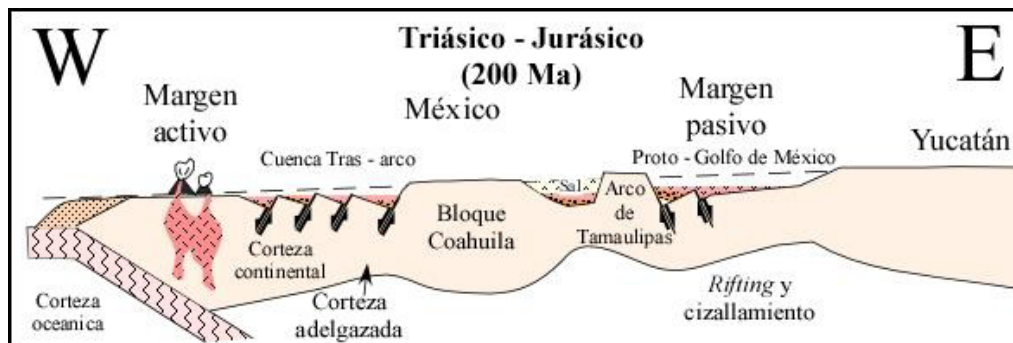
El fenómeno de la apertura ha sido asociado con una anomalía térmica relacionada a la instauración de una pluma del manto, la cual originó una zona de *rift* que disparó el adelgazamiento cortical entre el norte y sur de América (Figura 2. 3); produciendo, asimismo, un proto – golfo con fallamiento normal y reactivación de fallas en la corteza continental, las cuales produjeron extensión continental formando altos o *horts* (Bloque Burro – Salado, Bloque de Coahuila, Arco de Tamaulipas, Alto de Aramberri etc.) y cuencas o *graben*es (Cuenca Sabinas, Canal de Monterrey, la Cuenca Magicatzin (Pindell & Dewey, 1982; Goldhammer, 1999; Figura 2. 13).

Posteriormente, se inició el movimiento antihorario del bloque de Yucatán, despegándose del sur de Norteamérica (Figura 2. 13), lo que permitió las primeras transgresiones de aguas marinas someras (Dickinson & Lawton, 2001), generando ambientes complejos de sabkhas y lagunas, culminando en el Oxfordiano Inferior (Goldhammer, 1999).



**Figura 2. 3:** Reconstrucción Geotectónica de México para el Jurásico Medio (164 Ma). Se presenta la migración antihoraria del bloque de Yucatán (Yuc) con respecto a Norteamérica (NA) y la ubicación del polo de Euler. Se muestra también la migración del punto triple en la parte, el complejo intracrátónico Guerrero (picos sólidos) y la zona de subducción del margen continental latente (picos claros). Los asteriscos muestran las rocas datadas y alineadas del Arco Nazas (traza en V). **Abreviaciones:** A: Aramberri, B: Cuenca Bisbee, C: Chihuahua, Cab: Bloque Caborca, Coa: Coahuila, CTT: Transformante de Coahuila – Tamaulipas, DS: Bloque del Sur, Tam: Bloque Tampico (Dickinson & Lawton, 2001).

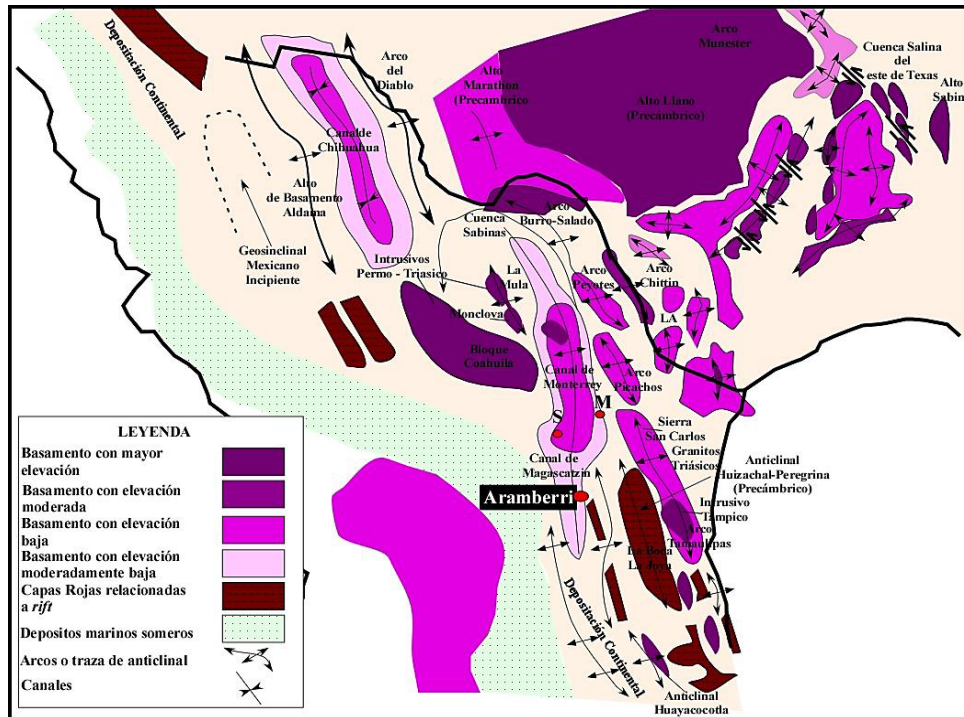
Sin embargo, las estructuras tectónicas formadas jugaron un papel importante para la sedimentación, debido a que funcionaron como zonas de aporte – erosión por parte de los altos estructurales (*horst*), mientras que, las zonas de captación – depósito fueron dadas por parte de las cuencas sedimentarias (*graben*s). (Mickalzik, 1985; Barboza-Gudiño, 1998; Goldhammer 1999; Figura 2.11).



**Figura 2. 4:** Modelo tectónico que muestra la evolución para el Triásico - Jurásico. Sección esquemática que cruza el norte de México de oeste (W) a este (E). Sin escala (Goldhammer, 1999).

La paleogeografía y las unidades litológicas, que se depositaron durante este periodo, son en general acumulaciones de rocas volcánicas y capas de lechos rojos (*red beds*) asociadas a los sistemas fluviales extensivos y *graben*s, producto de la generación del proto – golfo (Figura 2. 5) y se describen brevemente a continuación.

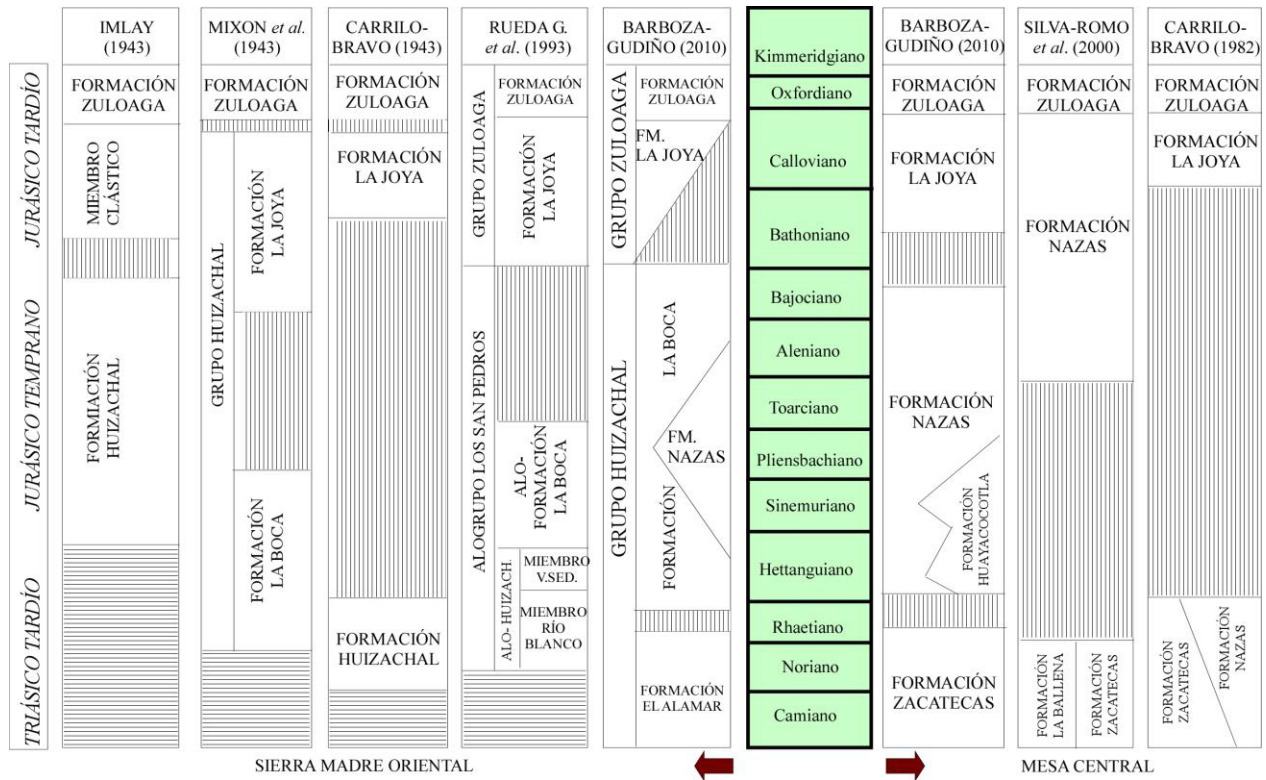
Los lechos rojos o *red beds* han sido descritos por diversos autores para el Noreste de México y son sin duda, las formaciones representativas durante la etapa de extensión (*rift*) y del sistema tipo abanico submarino fluvial. Estas son El Alamar del Triásico Tardío, La Boca del Jurásico Inferior y La Joya del Jurásico Medio), que conforman al aun denominado Grupo Huizachal (Mixon *et al.*, 1959; Rueda-Gaxiola *et al.*, 1993; Barboza-Gudiño, 2010). Este está expuesto en la Sierra Madre Oriental (Nuevo León y Tamaulipas) y la Mesa Central (San Luis Potosí, y Zacatecas) (ver Figura 2.5; Figura 2. 6).



**Figura 2. 5:** Mapa paleogeográfico del Triásico – Jurásico Inferior, tomado de Goldhammer (1999). Aramberri, está ubicado en una elevación moderada del basamento con tendencia NW – SE, abastecido por rocas del basamento y lechos rojos del Grupo Huizachal (Goldhammer, 1999).

Según Davis (2005), Rubio-Cisneros (2008) y Barboza-Gudiño *et al.* (2010), los lechos rojos del Triásico (conglomerados, areniscas y limolitas) pertenecen a facies de abanico aluvial proximal, depósitos meándricos o de ríos trenzados que afloran en las localidades de Galeana (Nuevo León) y del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (Tamaulipas).

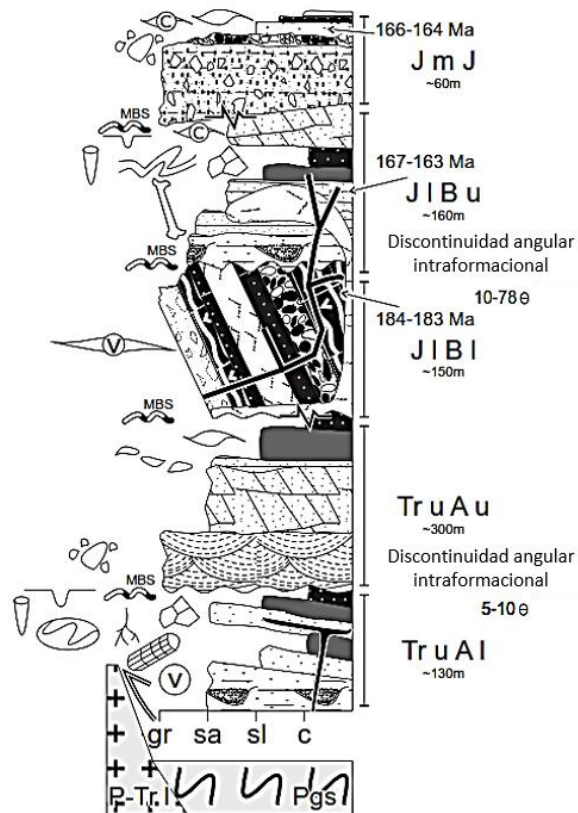
Barboza-Gudiño *et al.* (2010), propusieron una nueva unidad litoestratigráfica resolviendo la confusión de las unidades con edad del Triásico y del Triásico Tardío-Jurásico Temprano (Formación La Boca: Mixon *et al.*, 1959), a la que denominaron Formación El Alamar, teniendo su localidad tipo en el Cañon El Alamar, Sierra de Pablillo en Nuevo León (Figura 2. 7). La Formación El Alamar se correlaciona en edad con la Formación Zacatecas, el cual se considera como la contraparte marina del sistema de facies (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010; Figura 2. 6).



**Figura 2. 6:** Subdivisión estratigráfica propuestas por diferentes autores para las sucesiones del Mesozoico Temprano, expuesto en la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, Tamaulipas, Mesa Central, San Luis Potosí y Zacatecas (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010).

Clark *et al.* (1994), Fastovsky *et al.* (1995, 2005) y Barboza-Gudiño *et al.*, (2008) asignan una edad más joven (189 Ma) para la Formación La Boca en base al estudio geocronológico de U-Pb en zircons, mientras que, para la Formación La Joya que sobreyace discordantemente a la Formación La Boca (Figura 2. 7) se le ha asignado una edad de depósito del Jurásico Medio (entre 163-168 Ma).

Estas unidades afloran en las localidades del Valle del Huizachal, Bustamante y Miquihuana (Tamaulipas) y Aramberri y Galeana (Nuevo León). Consiste de unidades siliciclásticas continentales a marginal – marina, que incluyen capas de arenisca, conglomerados y brechas, compuestos por clastos con una fuente de rocas volcánicas y metamórficas. Los espesores de las formaciones son variables debido a su relación con el desarrollo de *graben*es, *semi – graben*es y la misma paleogeografía (Triásico Superior – Jurásico Medio).



**Figura 2. 7:** Esquema generalizado de las relaciones estratigráficas de la parte más inferior de la secuencia del Grupo Huizachal en la Sierra Madre Oriental. Nótese las discontinuidades angulares entre los miembros inferiores y superior para las formaciones El Alamar y La Boca. Con edades ponderadas en la columna de la parte derecha, sin una escala marcada. **Abreviaturas:** Pgs – Esquisto Granjeno Paleozoico. P-Tr I – Pérmico a Triásico Inferior. Tr u Al – Miembro inferior de la Formación El Alamar Triásico Superior. Tr u Au – Miembro superior de la Formación El Alamar Triásico Superior. JI BI – Miembro inferior de la Formación La Boca Jurásico Inferior. JI Bu – Miembro superior de la Formación La Boca Jurásico Inferior. JmJ Fm. La Joya Jurásico Medio c: Arcilla; sl: Limolita; sa: Arenisca; gr: Grava; V: volcánico; MBS: superficie delimitada mayor; C: Carbonatos.  $\Theta$ : Buzamiento de la discontinuidad (tomado de Rubio-Cisneros, 2012).

Discordante a esta formación se depositaron sedimentos evaporíticos y juntos marcaron el relleno de cuencas tipo *rift* restringida (Rubio-Cisneros *et al.*, 2011) y el comienzo de una margen pasiva con una oceanización o transgresión marina somera para el Calloviano (Figura 2. 8; Goldhammer 1999).

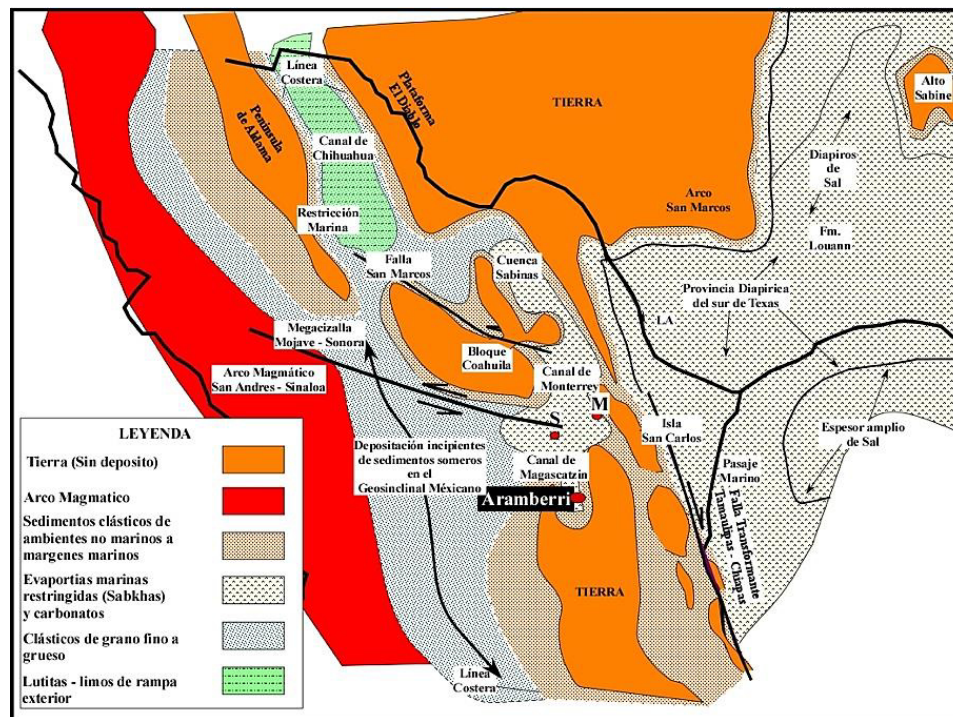


Figura 2. 8: Mapa paleogeográfico del Jurásico Medio (Calloviano – Oxfordiano), tomado de Goldhammer (1999).

### 2.2.2 Etapa de dispersión (*drifting*) y secuencias del Jurásico Tardío para el Noreste de México

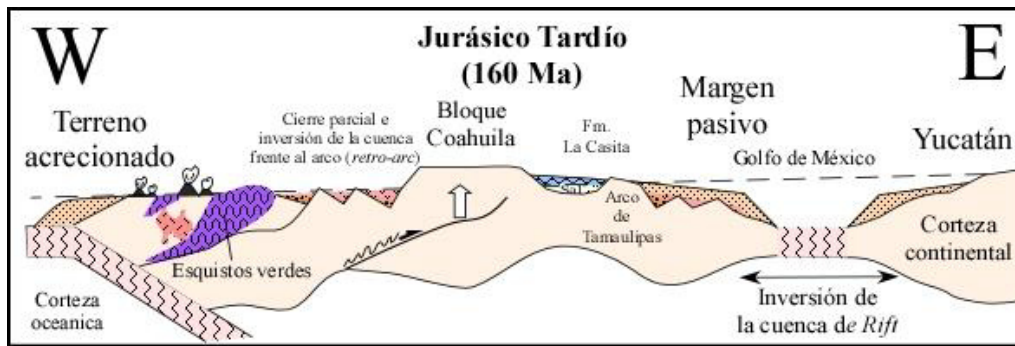
Poco después de la separación del bloque de Yucatán a través de los distintos sistemas de fallas (Falla Tehuantepec o Tamaulipas – Chiapas; Figura 2. 2 B y Figura 2. 3), se desarrolló piso oceánico por la instauración de una dorsal oceánica provocando transgresiones marinas durante el Calloviano trayendo consigo influjos de agua a través de cuencas intracratónicas, propiciando periodos con circulación restringida.

Para el noreste de México existen varios sitios donde los sedimentos evaporíticos fueron acumulados: la cuenca La Popa, la provincia marginal plegada de Coahuila, el canal de Monterrey (norte de la Sierra Madre Oriental), en Galeana, en los altos de Aramberri y el Potosí (Figura 2. 8; Götte, 1986, Meiburg *et al.*, 1987, Götte, 1988; Götte & Michalzik, 1992; Tardy *et al.*, 1994;)

Estos paquetes evaporíticos pertenecen a la Formaciones Minas Viejas y Olvido con edades del Oxfordiano temprano – Kimmeridgiano (Goldhammer, 2001). La Formación Minas Viejas se encuentra conformada por depósitos marginales – marinos, que se conforma por horizontes de carbonatos y yesos para el área del canal de Monterrey – Saltillo. Los paquetes evaporíticos aparecen en forma de diapiros dentro de los núcleos de anticlinales (Eguiluz *et al.*, 2000; Lawton *et al.*, 2001),

mientras que, para los altos de Galeana y Aramberri estas masas se presentan con una mayor exposición, sobreyaciendo discordemente a las capas rojas del Grupo Huizachal y al Basamento paleozoico (Meiburg *et al.*, 1987)

Las unidades evaporíticas fueron cesando a partir de que la falla dextral Tehuantepec se volvió inactiva y esto produjo en parte que continuara la entrada de agua marina y la depositación de carbonatos de la Formación Zuloaga (Oxfordiano – Kimmeridgiano; Figura 2. 9; Figura 2. 10), cubriendo así, gran parte del margen continental del NE de México e indicando el establecimiento de condiciones de mar abierto (Wilson 1990; Goldhammer, 1991, 1999; Dickinson & Lawton, 2001).



**Figura 2. 9:** Modelo tectónico que muestra la evolución para el Jurásico Tardío (Oxfordiano – Kimmeridgiano). Sección esquemática que cruza el norte de México de oeste (W) a este (E). Sin escala (Goldhammer, 1999).

Posteriormente, aumentó el nivel eustático, inundando gran parte del Noreste de México y trayendo consigo depósitos de carbonatos y arcillas de aguas profundas pertenecientes a los sedimentos de las Formaciones La Casita, La Caja y Pimienta cubriendo parte algunos altos pre – existentes, siendo esta la última unidad a la que representa el periodo de mayor influencia clástica (Figura 2. 10; Pindell, 1985; Wilson 1990; Mickalzik & Schumann, 1994; Goldhammer, 1991, 1999; Dickinson & Lawton, 2001).

Por otra parte, mientras que la margen pasiva ocurría para la parte Noreste de México para el Noroeste se tenía un margen activo que produjo vulcanismo de arco y acreción de un *collage* de posibles terrenos exóticos (composición del terreno Guerrero-Alisitos) (Figura 2. 9) en el Mesozoico Temprano – Tardío. El cese de la dorsal oceánica del Golfo de México impidió que el bloque de Yucatán continuara desplazándose durante el Barriasiano y que la subsidencia de algunos bloques de basamento se conformara de facies carbonatadas (Arco de Tamaulipas y Burro – Peyotes; Pindell, 1982; Pindell & Kennan, 2002); mientras que, una parte de la Isla Coahuila permanecía emergida controlando la sedimentación clástica (Mickalzik, 1985).



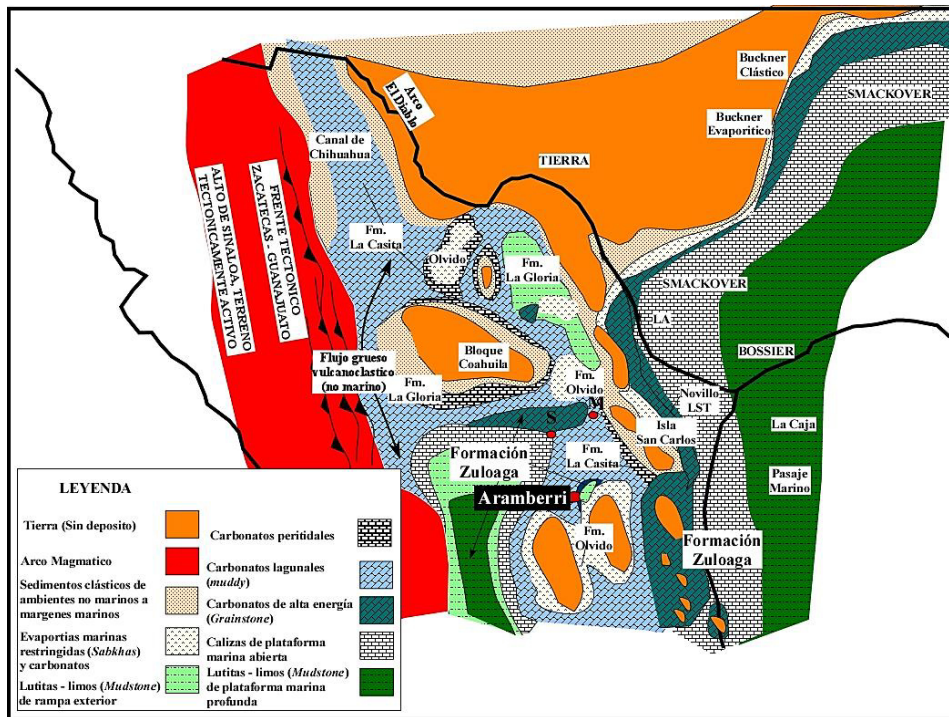


Figura 2. 10: Mapa paleogeográfico del Jurásico Tardío (Oxfordiano – Kimmeridgiano), tomado de Goldhammer (1999).

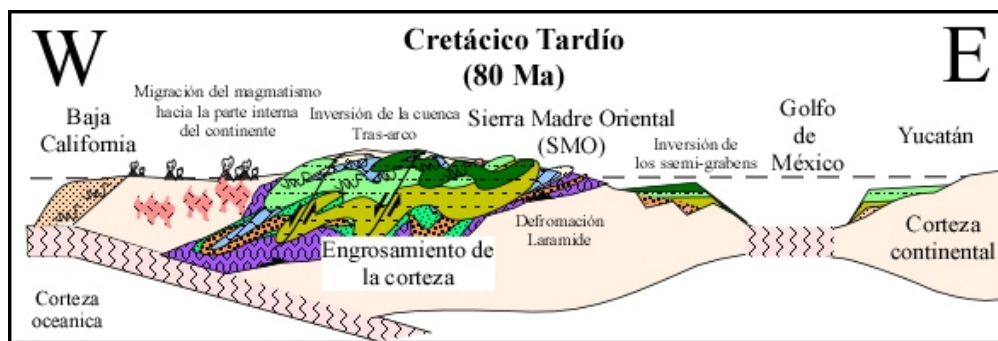
## 2.3 Generalidades de la Sierra Madre Oriental

Debido a que el área de estudio se encuentra dentro de la provincia morfotectónica de la Sierra Madre Oriental, presenta algunos rasgos y características geológicas que fueron proporcionadas por esta provincia, por lo que se destaca algunas generalidades.

La Sierra Madre Oriental se formó en México debido la orogenia Laramide, siendo el principal desencadenante para la deformación y transporte tectónico de la secuencia sedimentaria marina del Mesozoico medio – superior hacia el Norte y Noreste del país sobre las plataformas de Coahuila, Tamaulipas y Valles-San Luis Potosí (Tardy *et. al.*, 1975, 1980; Campa, 1985; Suter, 1987; Meiburg *et. al.* 1987; Eguiluz *et. al.*, 2000); dicho orógeno estuvo controlado por la disminución del ángulo de subducción de la placa Farallón y asimismo, por la acreción de terrenos (Guerrero – Alisitos) durante el Cretácico Tardío, causando *décollements* y una serie de contracciones en la corteza continental, formando así la provincia morfotectónica de la Sierra Madre Oriental.

Esta provincia se encuentra constituida a su vez por tres grandes subprovincias, las cuales son: (1) el cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, (2) la provincia marginal plegada de Coahuila y (3) el cinturón de pliegues de Chihuahua (Eguiluz, 2001; Marrett & Aranda-García, 2001).

La provincia morfotectónica que forma parte del orógeno Laramídico, cuenta con una longitud >800 km y con una amplitud de 80 a 100 km, con elevaciones que alcanzan hasta los ~3700 msnm, cuyo relieve se debe a la deformación de las rocas mesozoicas y de su complejo basal que fueron levantados, comprimidos y transportados hacia la parte noreste de México, formando el cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental (Figura 2.12).



**Figura 2.11:** Modelo tectónico para el Cretácico Tardío (Campaniano – Maaschtritiano). Sección esquemática que cruza el norte de México de oeste (W) a este (E). Sin escala (Goldhammer, 1999).

### 2.3.1 Estratigrafía de la Sierra Madre Oriental

La Provincia de la la Sierra Madre Oriental está conformada por rocas sedimentarias carbonatadas y terrígenas marinas de edad mesozoica (Michalzick, 1988; Figura 2.11), que descansan discordemente sobre un basamento Precámbrico-Paleozoico, ensamblado a final del paleozoico durante el armado de Gondwana. Afloramientos de este basamento se encuentran en Cd. Victoria, Bustamante, Miquihuana (Tamaulipas), así como Aramberri en Nuevo León (Torres-Sánchez, 2010; 2015).

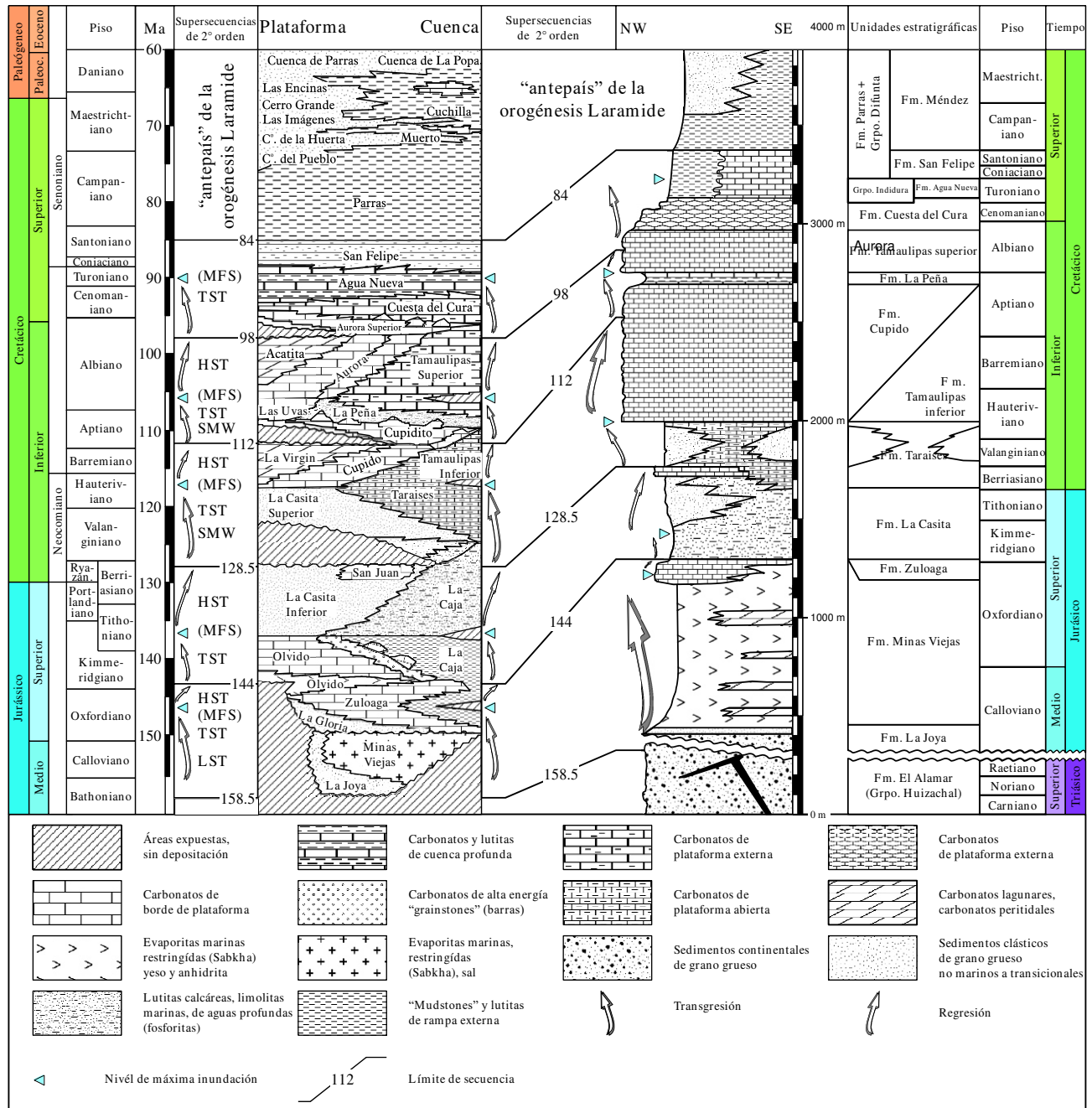


Figura 2. 12: Columna estratigráfica representativa para la curvatura de Monterrey de la Sierra Madre Oriental (Goldhamer & Johnsson; Michalzik, 1988; modificado por Jenchen, 2007).

### 2.3.2 Rasgos estructurales de la Sierra Madre Oriental

El estilo estructural de esta provincia esta domina por dos estilos de deformación:

(1) Pliegues forzados (por doblez y propagación de falla) con orientaciones NW – SE, delimitados por altos de basamento.

(2) Deformación tipo cubierta delgada o piel delgada (*thin – skinned folds*), según Eguiluz *et al.*, (2000) son pliegues de despegue con gran magnitud y escala, transportados hacia el antepaís (migración de charnela y rotación de flacos) y varían en orientación de NW – SE a NE – SW.

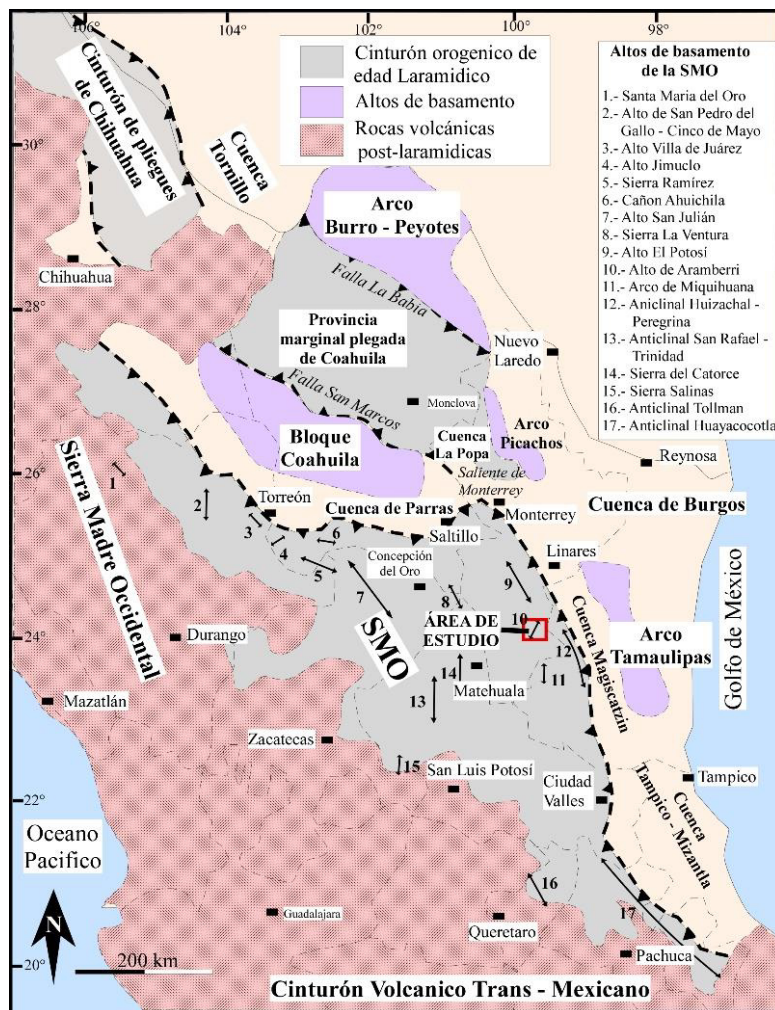
Además, grandes desplazamientos de cabalgaduras y fallas reactivadas a través de la Sierra Madre Oriental especialmente en las cercanías del frente de deformación, debió a la presencia de las secuencias evaporíticas acumuladas dentro de las cuencas sedimentarias, lo que hace característico que este tipo de deformación se presente en dicha zona.

El frente de deformación se ubica hacia el noroeste, iniciando con las salientes que se encuentran entre las ciudades de Torreón, Ciudad de Valles hasta Monterrey (Figura 2. 13), la saliente en Monterrey marca una curvatura característica debido a la propagación del acortamiento ocasionado por las evaporitas del Jurásico, que son las que controlan la forma y dirección del transporte local hacia el sur de la cuenca Sabinas entre el Bloque Coahuila y el Arco Tamaulipas – Picachos (Meiburg *et al.*, 1987; Eguiluz *et al.*, 2000; Cross, 2012), mientras que, para el noroeste y sureste de la saliente, no hay presencia de evaporitas, por lo que presenta una deformación dominada por pliegues y cabalgaduras forzadas, así como de fallas de propagación

A través de la Sierra Madre Oriental, sin duda los altos de basamento participaron activamente tanto para la paleo – sedimentación y para la deformación, teniendo reactivación de estructuras más antiguas a la época (Padilla y Sánchez 1985; Chávez-Cabello, 2005) y exhumando rocas pre – Jurásicas Tardías localmente.

## 2.4 Altos de Basamento existentes durante el Jurásico para el Noreste de México

Se ha mencionado que algunos bloques o altos estructurales influenciaron los procesos sedimentarios durante el Jurásico y que estos son inferidos de acuerdo con la distribución de facies y espesores de algunas secuencias de rocas que las limitan en un tiempo determinado (Figura 2.13). Estos bloques fueron cubiertos sedimentos marinos para el Mesozoico, que influenciaron los patrones de sedimentación y estilos estructurales hasta el Paleógeno (Goldhammer, 1999; Eguiluz *et al.*, 2000; Bartolini & Mickus, 2002).



**Figura 2. 13:** Mapa que presenta la localización en general de todos los altos de basamento existente dentro de la Sierra Madre Oriental (SMO), así como la localización del área de estudio (recuadro rojo). Asimismo, las características tectónicas principales del NE de México, la cubierta volcánica post-Laramide de la Sierra Madre Occidental (modificado de Cross, 2011).

Los altos de basamento de alguna manera no fueron deformados considerablemente por la Orogenia Laramide, y son descritos a continuación:

#### 2.4.1 Bloque Burro – Peyotes

Las rocas del basamento que constituyen al Bloque Burro – Peyotes son del Paleozoico Tardío (Flawn & Maxwell, 1958; Wilson *et al.*, 1984) e incluyen rocas y sedimentos metamórficos del interior del Cinturón Orogénico Ouachita – Marathon.

Este bloque se encuentra limitado al sur por la Falla La Babia con un probable movimiento sinistral (Charleston, 1981; 1994), hacia el este y sureste (Padilla y Sánchez, 1986). El bloque fue considerado por Humphrey (1956) como la parte noroeste de lo que se conoce como el Arco de Tamaulipas.

#### 2.4.2 Bloque de Coahuila

Definido por Kellum *et al.* (1936) como “Península de Coahuila”. Se ha sugerido para el Bloque Coahuila la existencia de dos arcos magmáticos previos a la transgresión marina del Jurásico Tardío en el noreste de México. El arco de edad Permo – Triásico que es el que marca el inicio de una margen activa (Torres *et al.*, 1999) e instaurándose justo al oeste de Pangea inmediatamente durante la colisión de Gondwana y Laurasia durante la Orogenia Ouachita – Marathon (Dickinson & Lawton, 2001) y el arco del Triásico Tardío – Jurásico (Grajales *et al.*, 1992; Jones & Cameron, 1995; Barboza-Gudiño *et al.*, 2008) asociado con la Formación Nazas (López-Infanzon, 1986).

Las rocas que componen el basamento del Bloque Coahuila son una secuencia gruesa de rocas marinas del Pensilvánico Medio (?) al Pérmico, así como a cuerpos intrusivos del Triásico. Las rocas presentan un metamorfismo de bajo grado e incluyen rocas volcánicas, secuencias tipo *flysch* o trubiditas derivadas un arco volcánico activo (arco Las Delicias formado durante Pangea; Fastovsky *et al.*, 2005), que produjo acumulaciones de depósito de gravedad transportadas en masas hacia la Cuenca de las Delicias. Asimismo, se presentan afloramientos de granitoides del arco Triásico Tardío – Jurásico reconocidos tanto en el Bloque de Coahuila (Denison *et al.*, 1969; McKee *et al.*, 1988; Molina-Garza, 2005), como en la cuenca Sabinas (Jones *et al.*, 1984) entre otras localidades, por último mármol, esquisto grafitico y cuarcitas, de facies en esquisto verde para la Sierra del Carmen (Carpenter, 1997)

El Bloque Coahuila está limitado al norte por la falla San Marcos de carácter lateral izquierdo (McKee *et al.*, 1988; 1990) y al sur por el lineamiento Torreón – Monterrey, paralelo a la falla de desplazamiento lateral a la mega cizalla Mojave (Anderson & Schmidt, 1983; Figura 2. 13). El Bloque

Coahuila está caracterizado por pliegues laramídicos dómicos amplios (anticlinales con doble inmersión) con dirección NW – SE debido a que el bloque funciona como una barrera rígida para la gran parte de la deformación Laramide sobre los carbonatos cretácicos (Imlay, 1936; Goldhammer, 1999). El Bloque Coahuila jugó un papel muy importante en la orientación de las plataformas carbonatadas y permaneció emergido desde el Jurásico hasta posiblemente el Aptiano Tardío (Padilla y Sánchez, 1986) cuando fue cubierto completamente por la transgresión marina del Mesozoico Tardío.

### 2.4.3 Arco de Tamaulipas

Esta conformado por intrusivos graníticos del Permo – Triásico que son vestigios del arco continental del Paleozoico Tardío y metasedimentos paleozoicos que aparentemente pudieran permanecer a la margen Gondwanica (Padilla y Sánchez, 1986). El Arco de Tamaulipas fue considerado por Humphrey (1956) como parte de una masa continental continua durante el Jurásico Tardío, la cual bordeó la parte oeste del antiguo Golfo de México.

El arco incluye las islas Sabinas, Picachos y San Carlos. Se encuentra limitado al este por la falla lateral derecha Tehuantepec o Tamaulipas – Chiapas que permitió la migración del Bloque de Yucatán (Pindell & Kennan, 2002). Fue un alto de basamento expuesto desde el Triásico Tardío al Cretácico Temprano, después fue completamente transgredido (Wilson *et al.*, 1984). Las estructuras que caracterizan a este bloque son sierras alargadas con relieves bajos.

### 2.4.4 Alto de Aramberri

El Alto de Aramberri se localiza al sur del estado de Nuevo León en los límites de dos dominós con características estructurales y paleogeograficas distintas: la Plataforma Valles – San Luis Potosí y de la Sierra Madre Oriental (Tardy, *et al.*, 1975). Cuenta con una tendencia diagonal (NNE) hasta casi perpendicular a la orientación principal a los rumbos de los anticlinales y sinclinales principales de la Sierra Madre Oriental (Meiburg *et al.*, 1987).

El Alto de Aramberri según Meiburg *et al.*, (1987) pertenece al conjunto de altos de basamento antes mencionadas, los cuales, ocurren dentro de estructuras plegadas en la parte noreste de México, y están constituidos por tener pequeños afloramientos muy antiguos que subyacen a las secuencias del Mesozoico.

Incluye un conjunto de rocas metamórficas, metasedimentarias del Paleozoico (Esquisto Granjeno) (Torres-Sánchez, 2010, 2015; Figura 2. 13).

El Cerro La Cruz pertenece al flanco oriental del alto de Aramberri y presenta una estratigrafía (Figura 2. 14) ligadas con la Sierra Madre Oriental:

Rocas volcánicas y lechos rojos del Grupo Huizachal (Mixon *et al.*, 1959) de la Formación La Boca del Jurásico Temprano (Barboza Gudiño *et al.*, 2010) y brechas de la Formación La Joya del Jurásico Medio.

Rocas sedimentarias del Grupo Zuloaga conformado por evaporitas y carbonatos de la base de la transgresión marina del Jurásico Superior, pertenecientes a las formaciones Novillo (Heim, 1940), Olvido (Heim, 1940; Imlay, 1953) Zuloaga (Imlay, 1937)

Por último, sedimentos terrígenos-carbonatados de las formaciones La Casita (Imlay 1936), Taraises y Tamaulipas Inferior (Muir, 1936) del Cretácico Inferior.

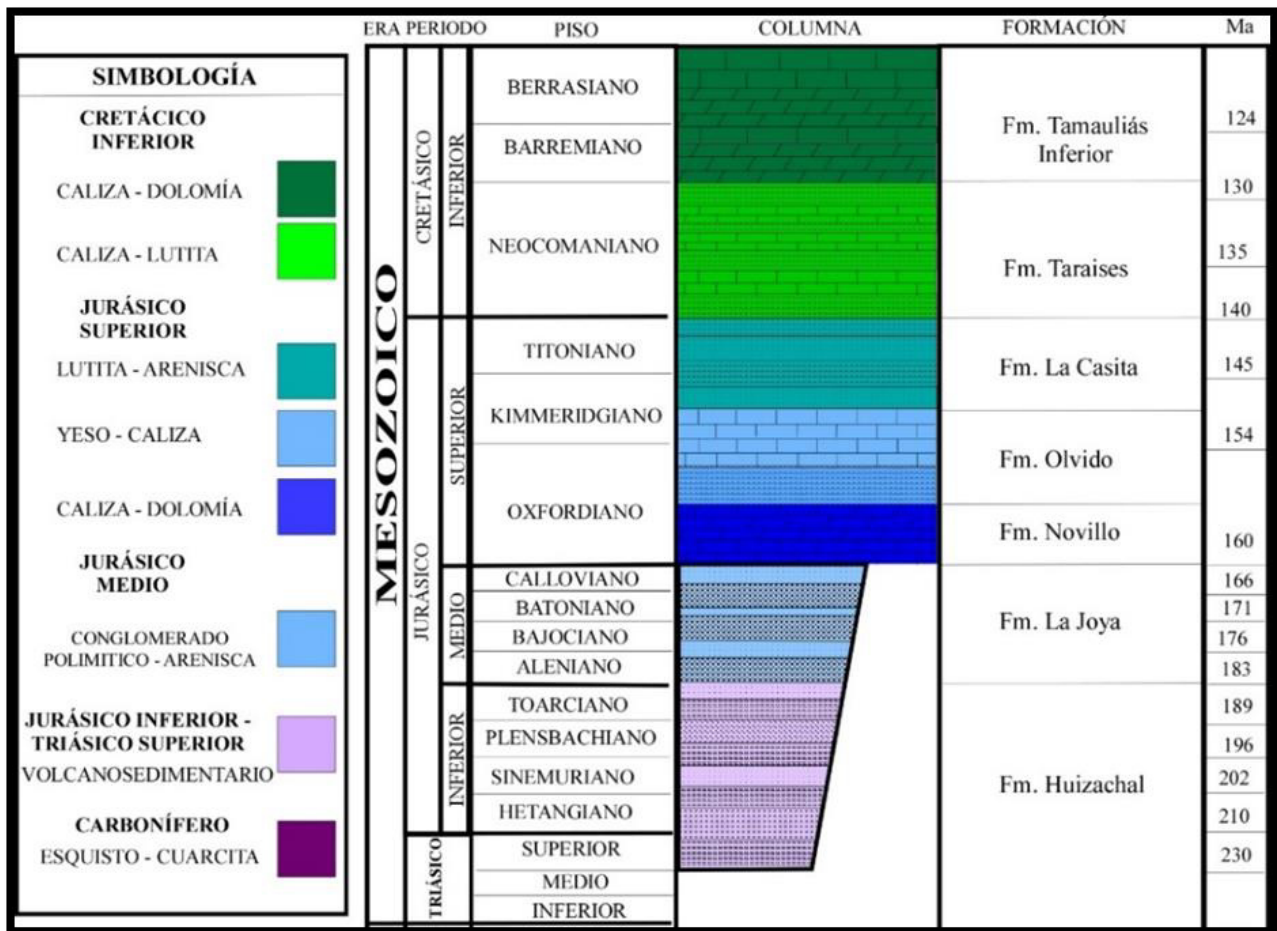


Figura 2. 14: Columna geológica de Aramberri, Nuevo León (SGM, 2010 clave G14- C87).



## 3 GEOLOGÍA LOCAL

### 3.1 Introducción

El área de interés se encuentra localizada a 13 km al Noreste de la cabecera municipal de Aramberri, cerca del poblado El Mezquital. El sitio se ubica en los alrededores del Cerro La Cruz, que cuadra dentro de las coordenadas C – UTM; 2 67200m N – 14-0 421500m E y 2 673500m N – 14 -0 423000m E, y el cual pertenece al flanco oriental del alto de Aramberri (Meiburg *et al.*, 1987), dentro del Cinturón Plegado y Cabalgado de la Sierra Madre Oriental. El área presenta un clima templado con temperaturas de 18-22°C en los meses de junio – julio – agosto y 12-15°C en diciembre – enero (INEGI, 2005). El tipo de vegetación característica son los matorrales desérticos rosetófilos, chaparrales, así como pastizales, vegetación halófila y páramo de altura (INEGI, 2005). Por otro lado, el área de estudio ha sido afectada en una porción, debido a la construcción de las líneas de conducción de gas (proyecto “Gas Natural Los Ramones”, desarrollado por la compañía TAG Pipelines y Gasoductos de Chihuahua).

Las unidades que afloran en la localidad Cerro La Cruz (Figura 3. 1; Figura 3. 2) comprenden rocas jurásicas volcánicas, clásticas y carbonatadas de origen marino representadas litoestratigráficamente por seis formaciones: rocas volcánicas y lechos rojos de la Formación La Boca, brecha de la Formación La Joya (Jurásico Medio), carbonatos de la Formación Novillo, paquetes clástico – carbonatado-evaporíticos de la Formación Olvido, afloramientos masivos de la Formación Zuloaga (Jurásico Medio – Superior) y unidades lutíticas-carbonatadas alteradas de la Formación La Casita (Jurásico Superior).

Para indentificar la estructuras y construir la columna estratigráfica fue necesario realizar una cartografía geológica (Figura 3. 1), levantar perfiles estratigráficos en el Cerro La Cruz (ver Anexo II) y efectuar un muestreo (Tabla 3. 1) para su posterior interpretación mediante el análisis petrográfico, microfacial y geoquímico.

El área de trabajo consiste de un anticlinal, el cual se denomina informalmente Cerro de La Cruz, cuyo eje cuenta con un longitud de ~ 3 km y una tendencia NNW-SSE (ver Anexos IV y V). Este se bifurca hacia el sur. En la zona donde el eje central se bifurca, se ubica la unidad más antigua que aflora en área, es decir el domo riolítico de la Formación La Boca. Este es sobreyacido por clásticos de la misma Formación, así como de las unidades sobreyacentes de las Formaciones Novillo y Olvido. Hacia el flanco occidental de la estructura se infiere la presencia de una estructura sinclinal, en base a

la estratigrafía; mientras que, el flanco oriental buza y es cubierto por sedimentos aluviales mas jóvenes.

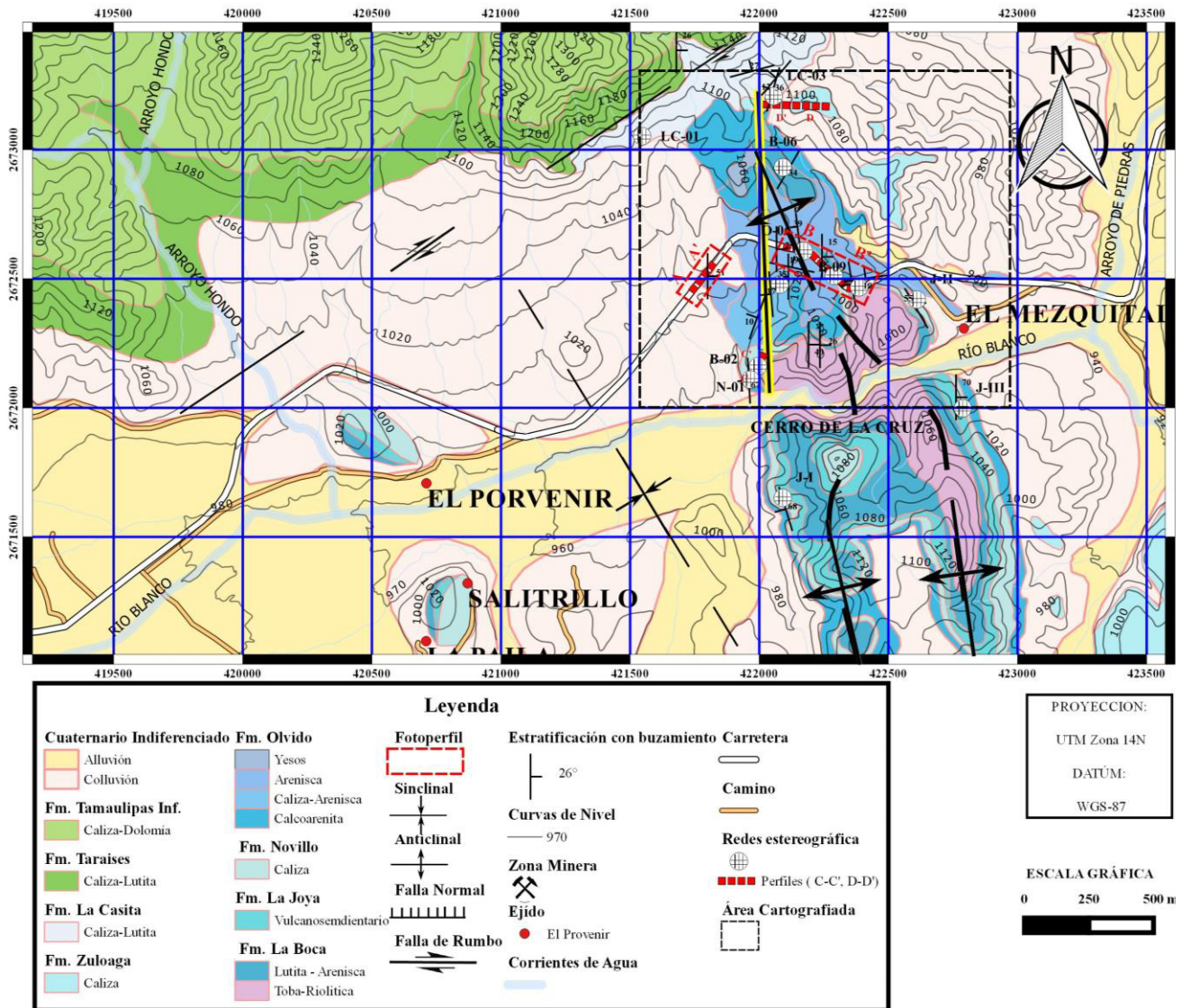


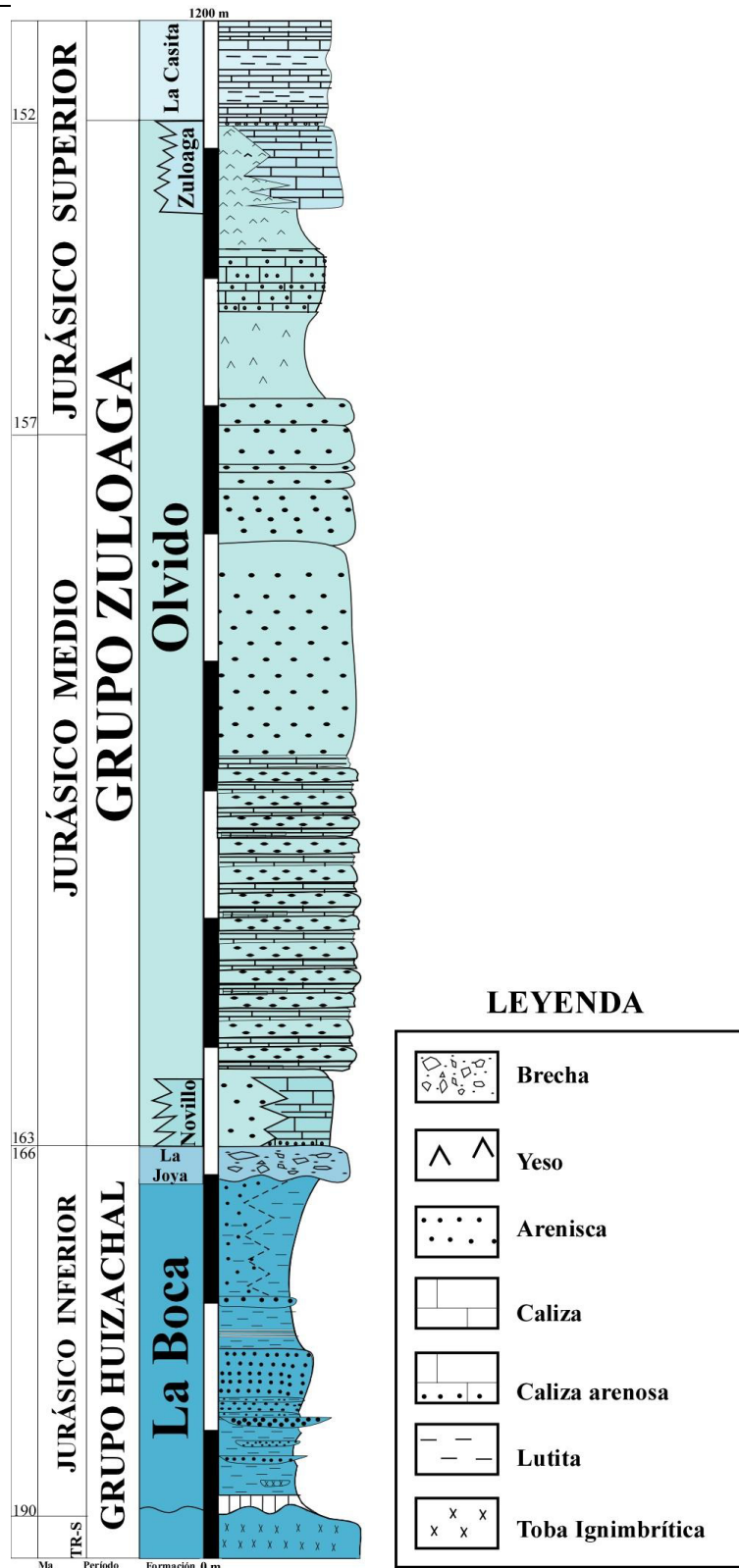
Figura 3. 1: Mapa geológico del área de estudio. (Para mejor apreciación, ver el Anexo V).

Las formaciones jurásicas (Figura 3. 2) presentes en el área de estudio comprenden a dos grupos importantes para el Noreste de México, el cual es el **Grupo Huizachal** conformado por La Formación La Boca y Joya (Mixon *et al.*, 1959), con edades del Jurásico Inferior – Medio y el **Grupo Zuloaga** (Humphrey & Díaz, 1956), conformado por las Formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga, cuya edad en base a la posición estratigráfica es considerada del Oxfordiano – Kimmeridgiano (Sandstrom, 1982).

Estos grupos fueron depositados en las cercanías de los *graben*s o bajos estructurales que se tuvo para la parte Noreste del país durante la apertura del Golfo México. Aflorando en Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas y Durango (Imlay, 1940).

**Tabla 3. 1:** Listado y descripción general de muestras pertenecientes a las formaciones presentes en el área de estudio (asteriscos muestra el análisis que se llevó a cabo).

LISTA DE MUESTRAS				ANÁLISIS		
Clave	Longitud	Latitud	Litología	Petrográfico (Capítulo IV)	Microfacies (Capítulo V)	Geoquímico (Capítulo VI)
<b>Formación La Boca</b>						
BOCA-01	422230	2672015	Arenisca tobacea grano medio - fino			*
BOCA-02	422010	2672069	Arenisca tobacea grano medio - fino	*		*
BOCA-03	422004	2672094	Arenisca tobacea – grano medio a fino	*		*
BOCA-04	421743	2672464	Arenisca tobacea grano medio	*		*
BOCA-05	421786	2672525	Arenisca tobacea grano medio	*		*
BOCA-06	421806	2672545	Arenisca tobacea grano medio a grueso	*		*
BOCA-07	422179	2672799	Arenisca tobacea-grano fino	*		*
BOCA-08	422175	2672807	Arenisca tobacea grano medio a grueso			*
BOCA-09	422307	2672506	Arenisca tobacea –grano medio a grueso			*
<b>Formación La Joya</b>						
JOYA-01	422374	2672467	Brecha			*
JOYA-02	422344	2672481	Brecha	*		*
JOYA-03	422321	2672494	Brecha	*		*
JOYA-04	422307	2672506	Brecha	*		*
<b>Formación Novillo</b>						
NOVILLO-01	421970	2672132	Caliza - <i>Mudstone</i>		*	*
NOVILLO-02	421984	2672142	Caliza - <i>Mudstone</i>		*	*
NOVILLO-03	421993	2672152	Caliza - <i>Wackestone</i>		*	*
NOVILLO-04	422001	2672163	Caliza - <i>Wackestone</i>		*	*
NOVILLO-05	422004	2672171	Caliza - <i>Grainstone</i>		*	*
<b>Formación Olvido</b>						
OLVIDO-01	422056	2672534	Arenisca			*
OLVIDO-02	422061	2672539	Arenisca	*		*
OLVIDO-03	422076	2672551	Arenisca	*		*
OLVIDO-04	422081	2672556	Arenisca	*		*
OLVIDO-05	422097	2672620	Lutita	*		*
OLVIDO-06	422114	2672618	Arenisca	*		*
OLVIDO-07	422127	2672616	Arenisca	*		*
OLVIDO-08	422151	2672605	Arenisca fina	*		*
OLVIDO-09	422149	2672611	Arenisca	*		*
OLVIDO-10	422172	2672615	Arenisca	*		*
OLVIDO-11	422179	2672611	Areniscas	*		*
<b>Formación Zuloaga</b>						
ZULOAGA-01	422227	2673183	Caliza			*
ZULOAGA-02	422213	2673183	Caliza - <i>Wackestone</i>		*	*
ZULOAGA-03	422186	2673182	Caliza - <i>Wackestone</i>		*	*
ZULOAGA-04	422162	2673180	Caliza - <i>Grainstone</i>		*	*
ZULOAGA-05	422133	2673181	Caliza - <i>Wackestone</i>		*	*
ZULOAGA-06	422044	2673181	Caliza - <i>Grainstone</i>		*	
ZULOAGA-07	422021	2673181	Caliza - <i>Mudstone</i>		*	*



**Figura 3. 2:** Columna geológica del área de estudio basándose en los datos de campo y en los grupos propuestos por Humphrey & Díaz (1956) y Mixon *et al.*, (1959). Ver Anexo III, para una descripción más a detalle. Abreviaciones: **TR-S:** Triásico Superior, **Ma:** Millones de Años.

## 3.2 Estratigrafía del área de estudio (Jurásico Inferior – Superior)

### 3.2.1 Formación La Boca (Jurásico Inferior)

Esta unidad fue descrita por Imlay (1943) como una intercalación de lutita, limolita arenisca y conglomerados de color rojizo, verde y gris verdoso, con localidad tipo ubicada en el Valle Huizachal – Peregrina y aflorando también, en los municipios de Aramberri y Galeana, Nuevo León. Mixon *et al* (1959) asocia la Formación La Boca junto a la Formación La Joya al grupo llamado “Huizachal”. Asimismo, esta unidad ha sido estudiada por diversos autores tales como: Carrillo-Bravo (1961); Salvador (1991); Fastovsky *et al* (1995); Weber (1997); Bartolini *et al* (1999); Rueda-Garxiola *et al* (1999); Fastovsky *et al* (2005); Barboza-Gudiño *et al* (2008, 2010); Rubio-Cisneros *et al.* (2011) y Rubios-Cisneros, (2012).

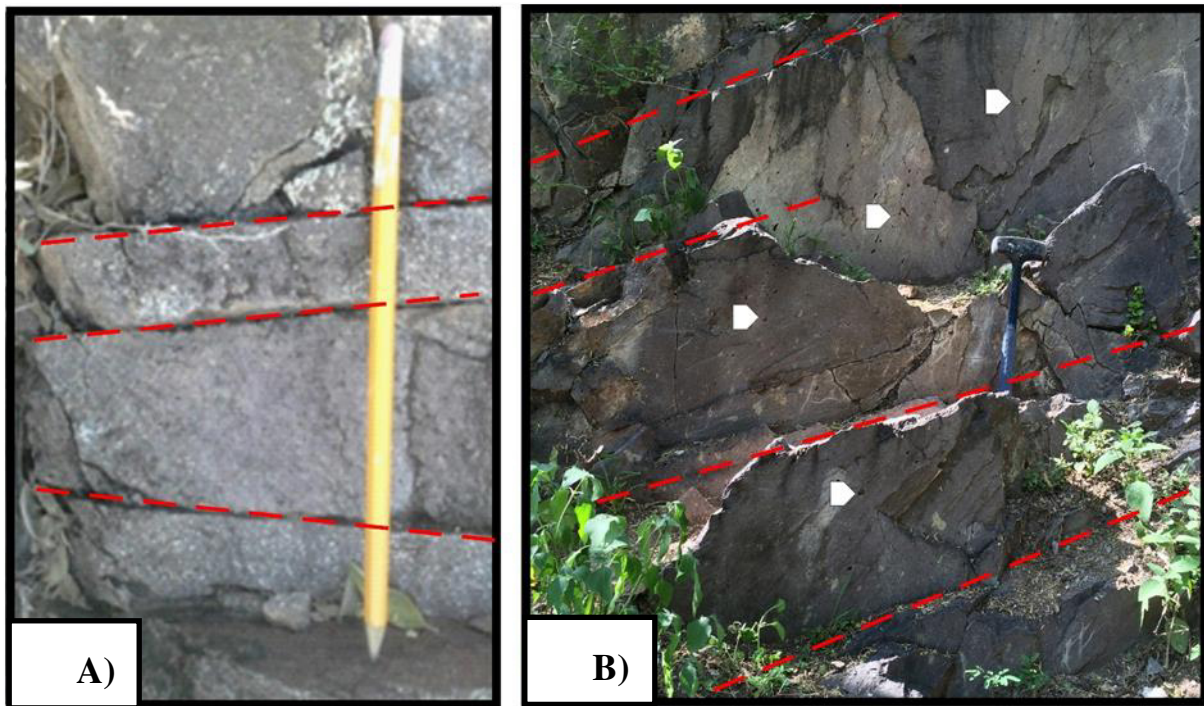
La Formación La Boca cuenta con tres sucesiones o intervalos estratigráficos: (1) intervalo inferior, (2) intervalo superior de la Formación La Boca y (3) intervalo superior hacia la Formación La Joya (Rubio-Cisneros *et al.*, 2011; Rubio-Cisneros & Lawton, 2011; Rubio-Cisneros, 2012). El intervalo inferior involucra sucesiones volcánicas como diques y *sills* con una edad del Triásico Tardío. Sin embargo, las sucesiones vulcanoclásticas o epiclásticas corresponden al miembro superior con una edad dentro del Jurásico Temprano, las cuales consisten de litoarenitas o areniscas feldespáticas.

No obstante, los intervalos de las sucesiones a la Formación La Joya se encuentran conformadas por: *lapilli*, tobas, flujos de lava, brechas vulcanoclásticas, ignimbritas, lutitas, limolitas, arenisca, y conglomerado (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010; Rubio-Cisneros *et al.*, 2011).

La Formación La Boca se correlaciona con la Formación *Eagle Mills* al sur de los Estados Unidos (Mixon *et al.*, 1959). La edad asignada a la unidad ha estado en debate, debido a la escasez de información bioestratigráfica. No obstante, la geocronología y la estratigrafía indican una edad para los miembros pertenecen al Jurásico Inferior con edades de U – Pb de 184 – 183 Ma (miembro inferior) y 167 – 163 Ma (miembro superior; Rubio-Cisneros & Ocampo-Díaz, 2010; Rubio-Cisneros, 2012), más joven sobre la edad que se proponía. Además, el tipo de ambiente al que se le considera actualmente es de ambiente fluvial (Figura 3. 25).

### Descripción en el área de estudio

La Formación La Boca constituye la unidad litológica más antigua que aflora en el área, conformada en su parte basal por secuencias de tobas riolíticas e ignimbritas que, según Rubio-Cisneros (2011) perteneciera al miembro más antiguo (Triásico Tardío) de la Formación La Boca, se presenta como paquetes de aproximadamente 3 o 5 m de espesor con una pseudoestratificación sub – horizontal (321/40), con ciertas fracturas perpendiculares y con tonalidades de color violeta (Figura 3. 3), así como también se presentan cavidades posiblemente por el escape de gases (Figura 3. 3B).



**Figura 3. 3:** Se presenta el miembro más antiguo de la Formación la Boca **A-B)** Toba riolítica presenta una pseudoestratificación horizontal y tonalidades color violeta, las líneas rojas punteadas muestran la pseudoestratificación. Las flechas blancas indican cavidades (coordenadas UTM: 2672192m N – 14-0422620m E).

Asimismo, dentro de esta Formación se incluyen sedimentos de tipo lacustres rojos (Mixon *et al.*, 1959) que pueden ser observados en un corte de la carretera que pasa dar acceso al Cerro La Cruz.

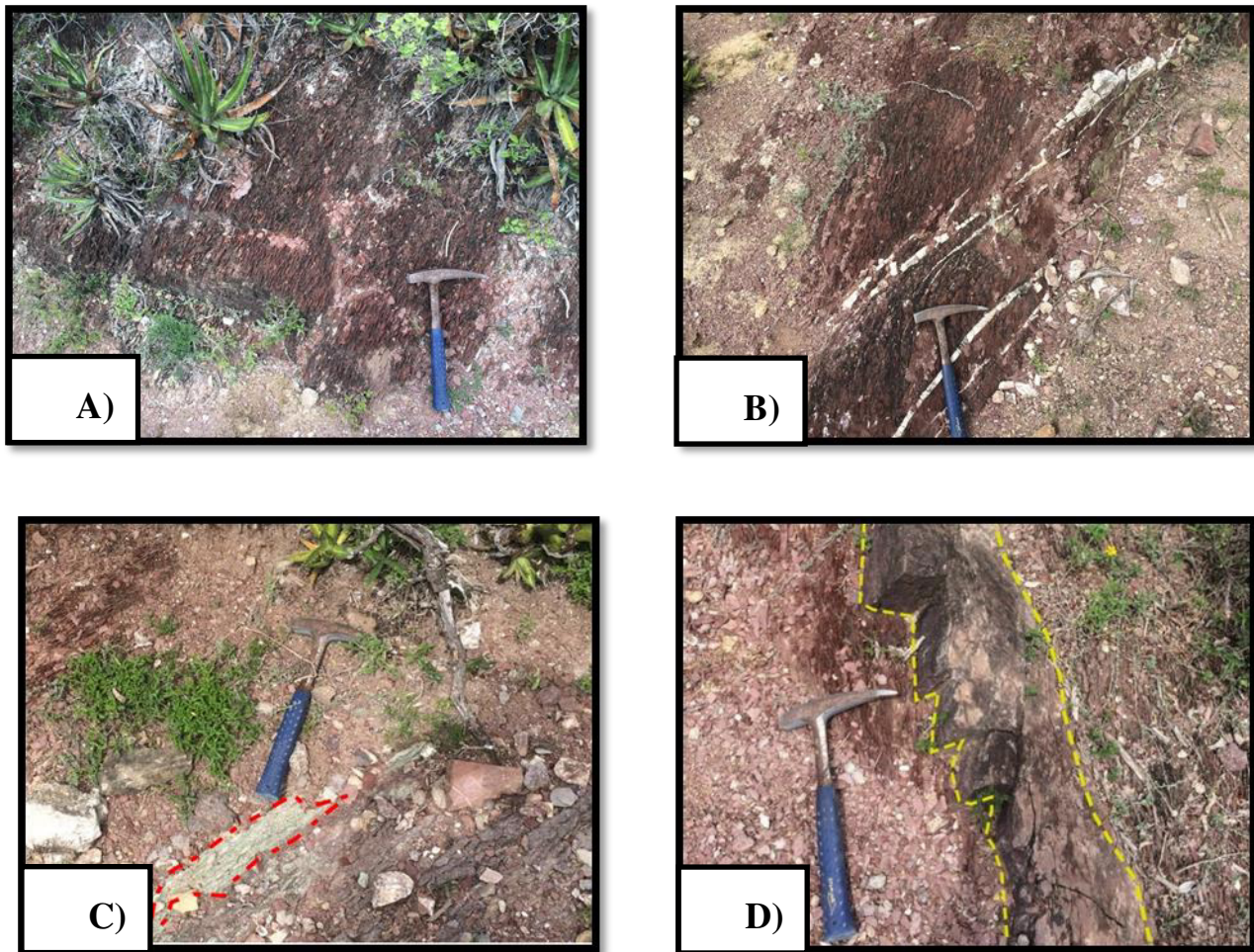
Este paquete cuenta con alternancias de lutitas de color violeta o rojiza y ceniza en capas muy delgadas (Figura 3. 4; se puede ver en el Anexo I, foterperfil II junto con el perfil estratigráfico B, correspondiente en el Anexo II). El ordenamiento de dichas capas permitió obtener datos de estratificación (ver tabla del Anexo IV).



**Figura 3. 4:** Sedimentos lutíticos rojizos con alternancia de lutitas con capas de cenizas en coloraciones más claras (coordenadas UTM: 2672510m N – 14-0422463m E).

La Formación La Boca presenta paquetes de rocas sedimentarias con coloraciones violetas o moradas, siendo constituido por lutitas y limolitas corresponderían al miembro superior según Rubio-Cisneros *et al.* (2011), las cuales en ocasiones presentan vetillas de cuarzo muy pronunciadas. Incluso dentro de estos paquetes se pueden presentar lentes de coloración verde (Figura 3. 5C) asociados posiblemente a material tobáceo, así como lentes de areniscas interestratificadas (Figura 3. 5D) a la orientación laminar de las lutitas moradas.

El espesor de esta unidad es muy variado, pero se estiman aproximadamente 30 metros en horizontal.



**Figura 3. 5:** **A)** Componente lutítico de la Formación La Boca con una granulometría fina mostrándose coloraciones moradas. **B)** componente lutítico con vetillas de cuarzo con espesor de 3 cm de ancho por 50 cm largo, **C)** maculas de toba de color verde y **D)** se encuentran lentes areniscas tobaceas con una coloración diferente interstratificado con las lutitas con orientaciones perpendiculares a estas (coordenadas UTM: 2672101m N – 14-0422003m E).

Además, la unidad se conforma también por paquetes de areniscas masivas, con tonalidades moradas, rojizas y con una granulometría de grano medio a grueso. En ocasiones la unidad cuenta con una cierto reacomodo o alineamiento de los granos (Figura 3. 6), el tamaño de los espesores de las areniscas varía, pero abundan las capas de aproximadamente 60 centímetros, como se observa en el fotoperfil I de la Figura 3. 6 (ver en el Anexo II para el perfil A correspondiente al fotoperfil I).

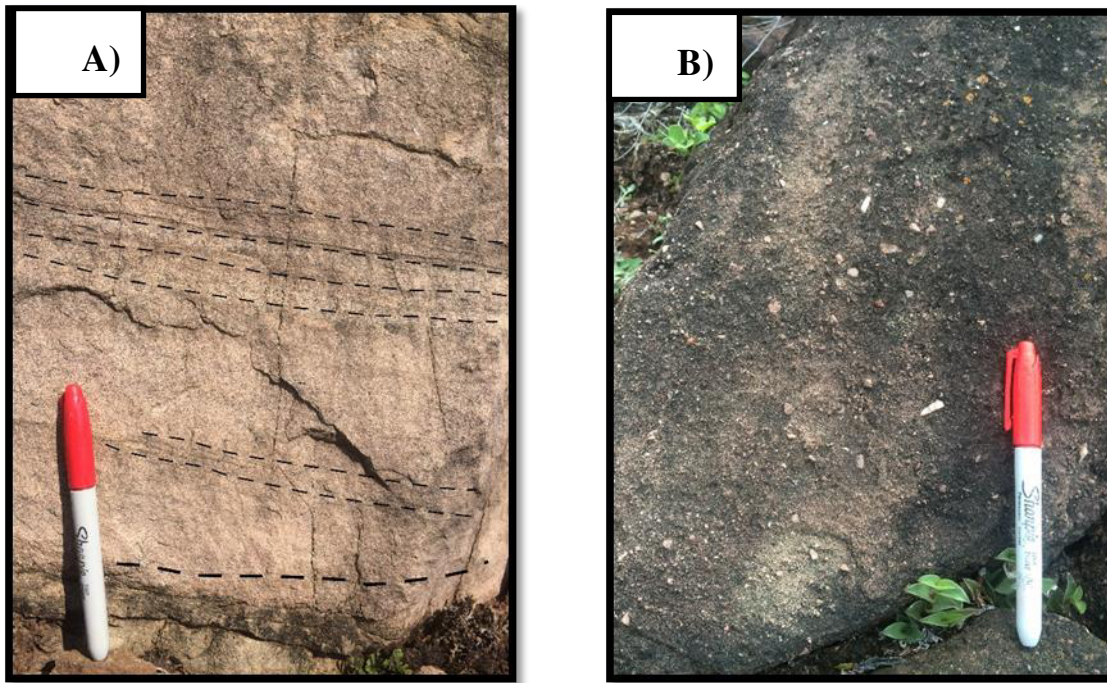




**Figura 3. 6:** Muestra fotoperfil I de la Formación La Boca en corte de la carretera que conecta el municipio de Aramberri N.L con el poblado El Mezquital, donde se muestran los paquetes de areniscas con coloraciones moradas que en parte presenta intercalaciones de lutitas con una cubierta o ‘costra’ de material calcáreo de tonos blancos, se muestra también espesores de las capas que va de gruesos a delgados de izquierda a derecha. Asimismo, se puede apreciar en un zoom, el ordenamiento tamaño y arreglo de los granos y la costra del material calcáreo (Letras A-A’ correspondiente al perfil estratigráfico A del Anexo I, las líneas punteadas verdes representan el acomodo de las capas, la línea de color rojo la escala y la línea de color negro representa el límite entre la Formación y material cuaternario indiferenciado; coordenads UTM: 2672468m N – 14-0421758m E).

La cima de la Formación se encuentra conformada por areniscas con tonalidades naranjas a violetas, en donde en ciertas partes se pueden apreciar, marcas pequeñas asociadas a la depositación de los granos (Figura 3. 7A), como también, se pueden observar a simple vista granos de cuarzo con un tamaño de escala de centímetros. (Figura 3. 7B).

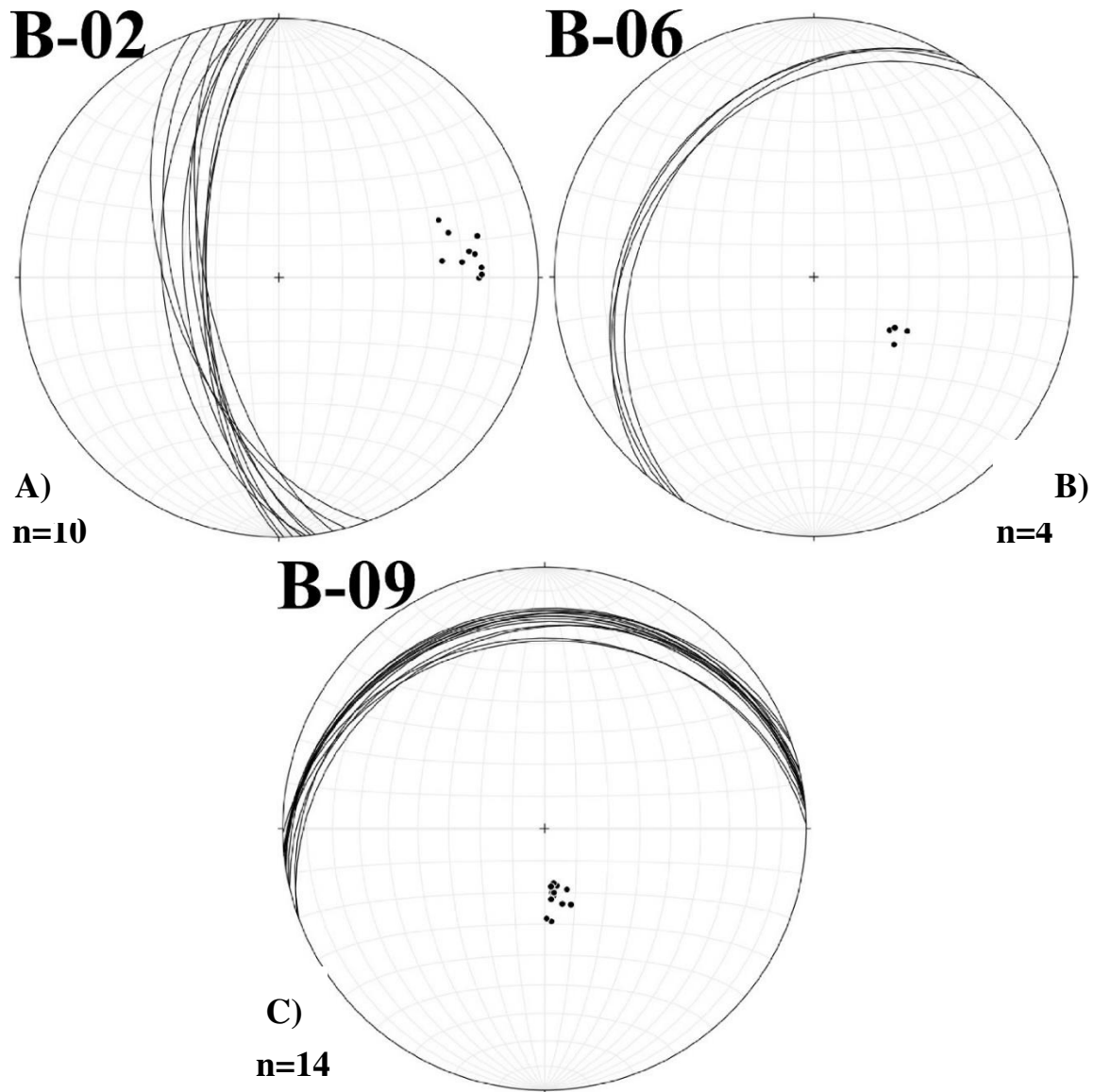
En general, la Formación La Boca cubre un área amplia de la zona de estudio dominada por unidades siliciclásticas que subyacen, discordemente a brechas o conglomerados de la Formación La Joya y/o por carbonatos del Jurásico Medio – Superior.



**Figura 3. 7:** Hacia la cima o techo de la Formación La Boca se pueden presentar, A) Areniscas de grano medio con algo de laminación de la Formación La Boca, B) Areniscas de grano grueso, que en los que se pueden reconocer simple vistas granos de cuarzo (coordenadas UTM: 2672753m N – 14-0422190m E).

No obstante, en ocasiones se pueden reconocer ciertos rasgos estructurales antes mencionados, que indican el tipo de dirección y buzamiento en los paquetes de la Formación La Boca y que a continuación se presentan en proyecciones estereográficas.

Datos de estratificación medidos con claves B – 02, B – 06 y B – 09 (Figura 3. 8; ver el mapa geológico del Anexo V y tabla de datos estructurales en el Anexo IV, para la ubicación y mediciones los diagramas de Schmidt)



**Figura 3. 8:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación La Boca, donde “n” representa el número de datos tomados, **A)** Clave B-2.- Lutitas y areniscas **B)** Clave B-06. - Lutitas con intercalaciones de cenizas **C)** Clave B-09.- Toba riolítica.

### 3.2.2 Formación La Joya (Jurásico Medio)

Definida por Mixon *et al.* (1959) teniendo la localidad tipo en el rancho La Joya Verde, ubicado en el Valle del Huizachal.

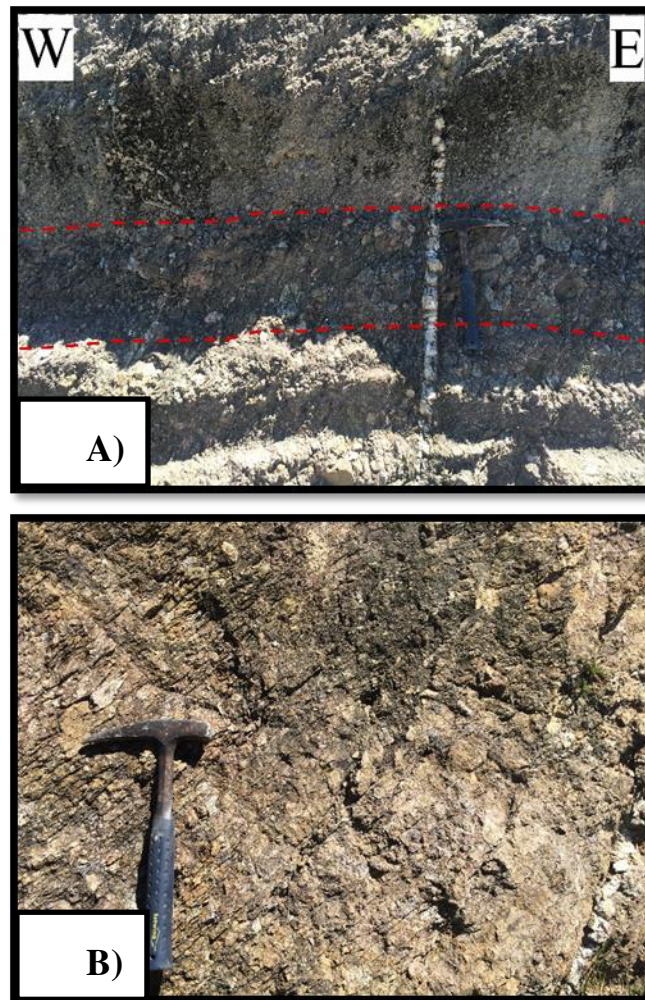
Estudios sugieren que la Formación La Joya tiene una edad del Jurásico Medio – Tardío (164 Ma), y estratigráficamente se ubica subyacente a los lechos rojos del Bathoniano – Calloviano y suprayacente a estratos del Oxfordiano (Rubio-Cisneros & Lawton 2011).

El ambiente correspondiente es de tipo lacustre (PEMEX, 1988). Estos depósitos se componen de rellenos aluviales que varían desde abanicos hasta planicies y posiblemente depósitos lagunares y marinos someros (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004: Figura 3. 25), así como también, pertenece a rellenos de cuencas restringidas de tipo *rift* (Salvador, 1991; Rubio-Cisneros *et al.*, 2011)

#### Descripción en el área de estudio

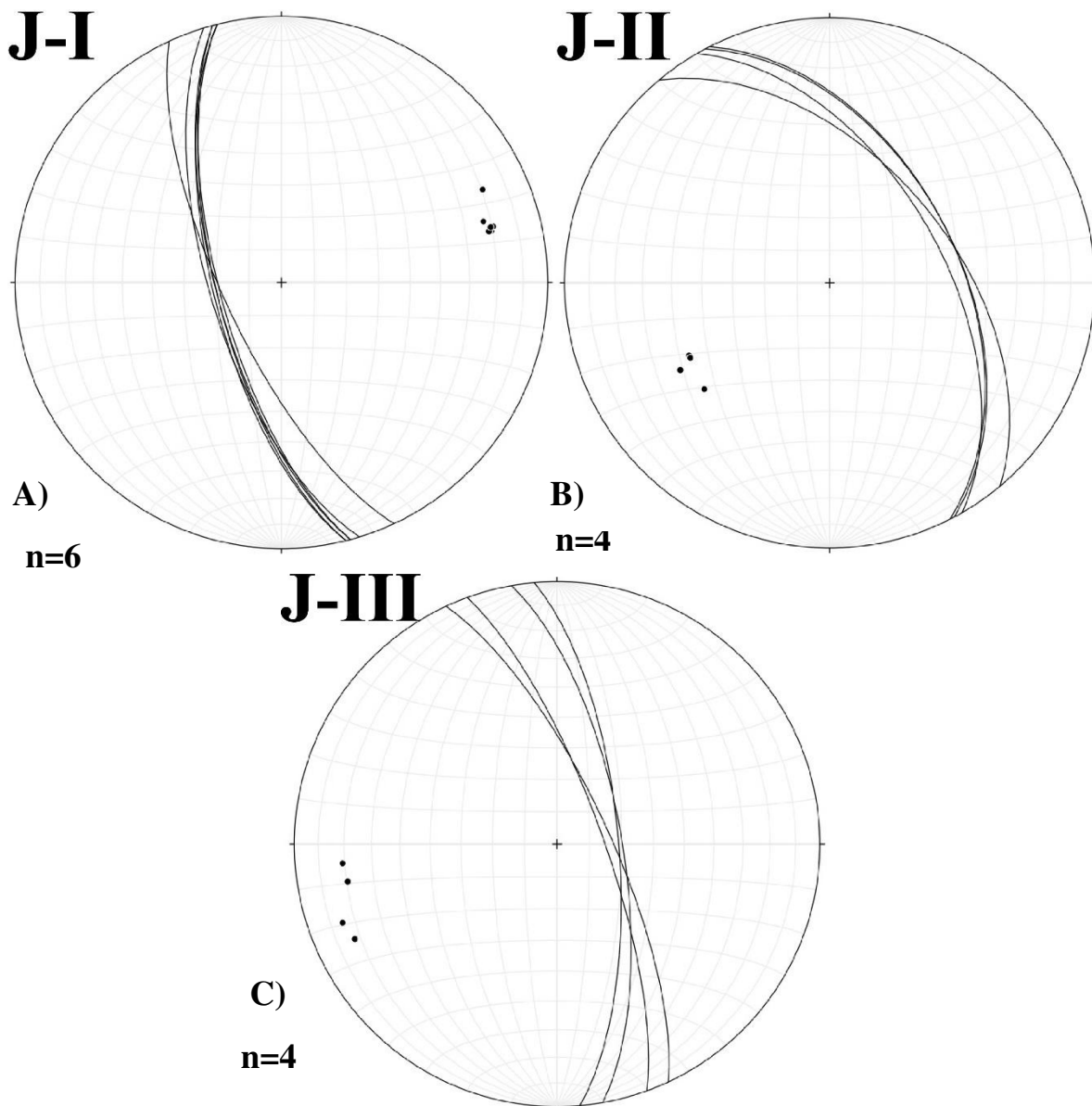
La Formación La Joya en el área estudiada se presenta como de secuencias de material brechado tipo polímictrico que cuenta con fragmentos sub – angulosos de rocas (lechos rojos, tobas riolíticas) y minerales (cuarzos) con tonalidades que varían de rojo a verde cuando es menos intemperizada, mientras que aparece en colores claros (naranjas o café) cuando se tiene mayor intemperismo (Figura 3. 9B). Los tamaños de los fragmentos de esta unidad gradan con diámetros de ~ 12 cm (en base del afloramiento) a < 2 cm (en techo de afloramiento) soldados por una matriz fina minerales arcillosos (illita, clorita, calcita). Dichos fragmentos presentan un cierto alineamiento horizontal, lo que permite que se una estructura pseudoestratificada (Figura 3. 9A).

Los espesores de esta unidad para el área de estudio son de 2 a 7 metros como máximo, con un contacto en forma discontinua o por fallamiento tipo normal (afloramiento en carretera, ver fotoperfil II, del Anexo I) sobreyaciendo a la Formación La Boca y subyaciendo a la Formación Novillo, en ocasiones esta formación aparece muy alterada.



**Figura 3. 9:** A) Formación la Joya con coloraciones verdosas conformado por clastos que se pueden reconocer a simple vista con menos alteración donde se puede observar que en la base presenta fragmentos con tamaños más grande mientras que en el techo de la unidad aparecen con tamaños más reducidos. Las Líneas rojas representan las pseudostratificación, B) Se logran apreciar ciertos granos de tamaños de 2 o 3 cm, pero con tonalidades más claras naranjas o amarillas debido a que se encuentra con mayor alteración (coordenadas UTM: 2672472m N – 14-0422376 m E)

Las orientaciones de esta formación (Figura 3. 10) presentan un cierto arreglo que junto, con las demás mediciones, no ayudan a establecer una idea sobre el anticlinal (ver el mapa geológico del Anexo V y tabla de datos estructurales en el Anexo IV, para la ubicación y mediciones los diagramas de Schmidt).



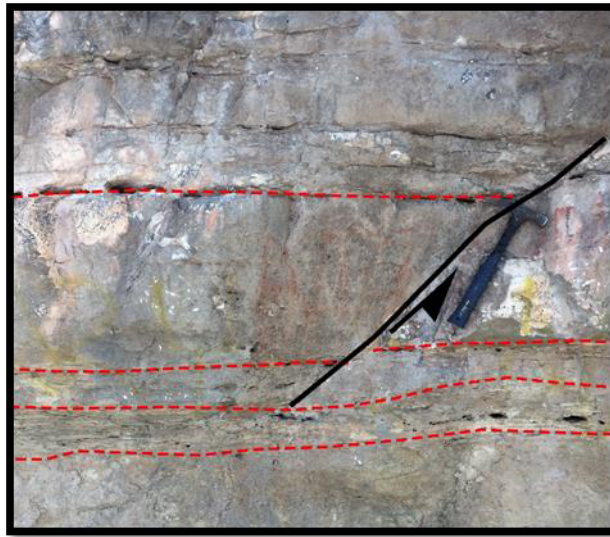
**Figura 3. 10:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación La Joya, donde “n” representa el numero de datos tomados, **A)** Clave J-I, **B)** Clave J-II, **C)** Clave J-III.

### 3.2.3 Formación Novillo (Jurásico Medio)

Descritas por Heim (1940) en la localidad del Cañón del Novillo al oeste de la ciudad de Victoria, Tamaulipas. La edad a la que está representada esta formación es del Jurásico Medio – Superior (Calloviano – Oxfordiano). El ambiente de depósito según Fisher *et al.*, (2007) en base a estudios de microorganismos, la ubica en áreas restringidas (Figura 3. 25) combinada con baja biodiversidad cercanos a nichos ecológicos de microfósiles.

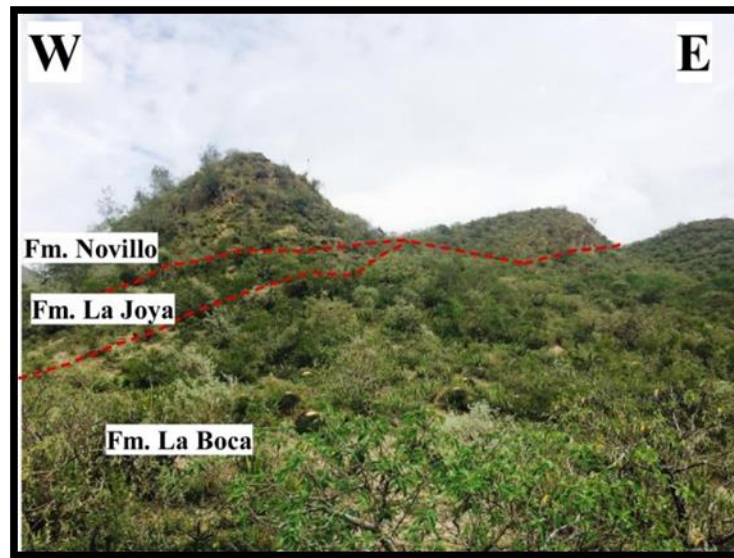
#### Descripción en el área de estudio

La Formación Novillo está representada por calizas, sin apreciación de organismos en afloramiento de color gris claro en muestra fresca y colores café claro en interperismo, en ocasiones presenta alternancias de horizontes calcoareníticos y lutíticos (Figura 3. 11). Los espesores de la Formación Novillo varían de base a techo con capas delgadas (~ 20 cm) a gruesas de (4 m).

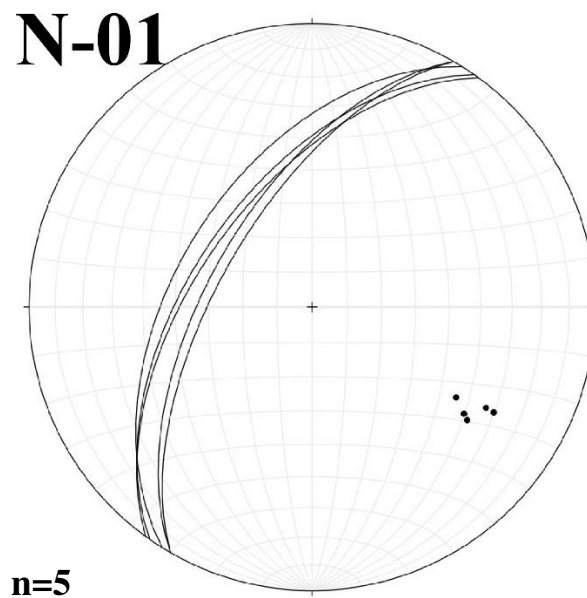


**Figura 3. 11:** Caliza de la Formación Novillo, donde se puede apreciar el tamaño de los estratos, así como las intercalaciones de los horizontes lutíticos y calcoareníticos (coordenadas UTM: 2672141m N – 14-0422010m E).

El análisis de láminas delgada (CAPÍTULO V) indica una caliza *Wackestone* en su mayoría con granos intraclastos indeterminados. Las direcciones preferenciales del buzamiento (Figura 3. 13; ver el mapa geológico del Anexo V y tabla de datos estructurales en el Anexo IV, para la ubicación y mediciones los diagramas de Schmidt) son en promedio de alrededor  $200^\circ / 50^\circ$ . Esta unidad sobryace sobre la Formación. La Joya (Figura 3. 12) y subyace con la Formación Olvido, pero en ciertos lugares del área dicha formación no aflora.



**Figura 3. 12:** Se puede observar el contacto de la Formación Novillo (cima) subyaciendo transicionalmente a la Formación La Joya (coordenadas UTM: 2672141m N – 14-0422010m E).



**Figura 3. 13:** Diagrama de Schmidt con clave N-01 que muestra las mediciones estructurales de la Formación Novillo y donde “n” representa el numero de datos tomados



### **3.2.4 Formación Olvido (Jurásico Superior)**

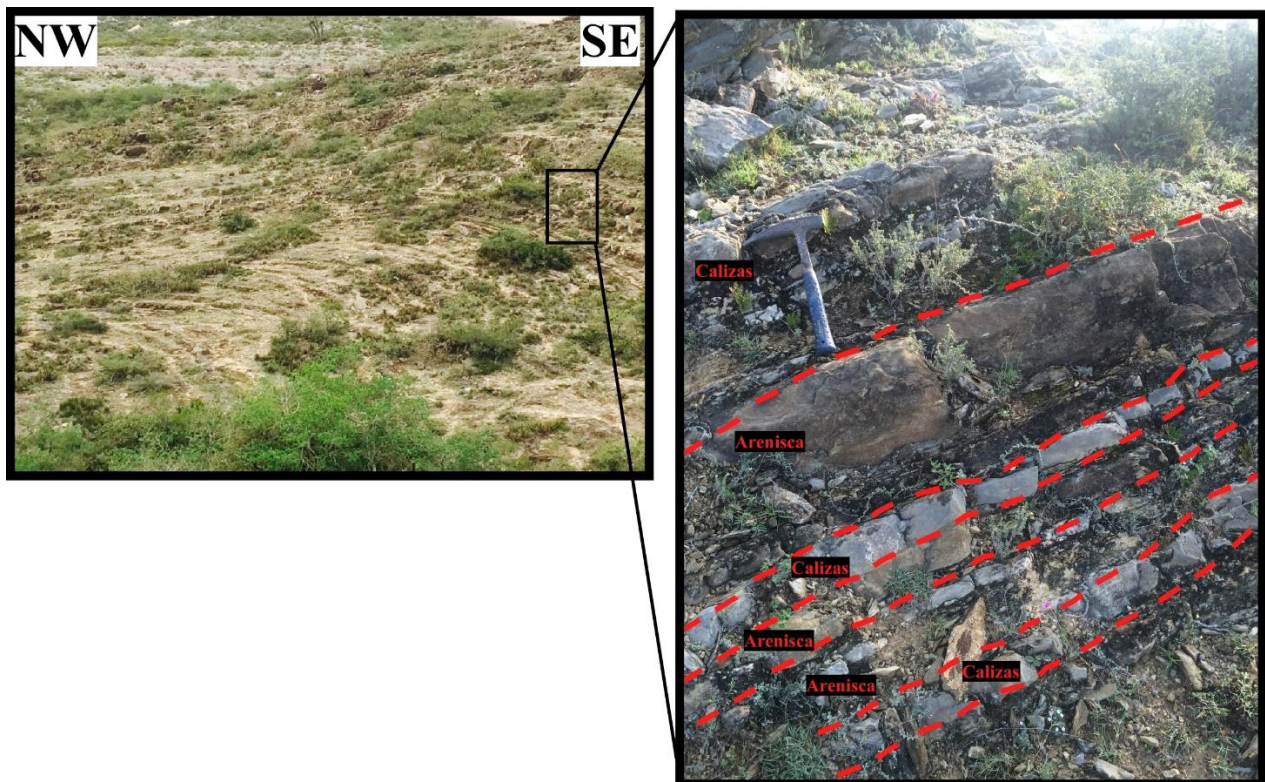
Esta formación fue estudiada inicialmente por Schmittou y Kellum (en Burckhardt, 1930) y posterior por Muir (1936), hasta que Heim (1940) le propuso el nombre de Formación Olvido a el conjunto de secuencias de calizas de color naranja o amarillo en interperismo, dolomías con lutitas y areniscas estratificadas, teniendo su localidad tipo en el rancho El Olvido al sureste del Valle del Huizachal. Más tarde, Imlay (1943) menciona que la Formación Olvido incluye la masa de yeso.

En México esta unidad se ha correlacionado con la parte superior de la Caliza Zuloaga en el oeste y centro de Nuevo León, Coahuila y norte de Zacatecas. La edad registrada para esta unidad se encuentra en controversia registrando edades del Oxfordiano (Díaz, 1959), y otros estudios en base a su posición estratigráfica la han remitido al Oxfordiano Superior – Kimmerigiano (Imlay, 1943; Carrillo-Bravo, 1961).

El ambiente de depósito al que relacionan esta formación son de moderada energía (Eguiluz, 2001) mientras que para la unidad evaporítica la ubican en un marco marginal – marino restringido (Figura 3. 25; Humphrey & Díaz, 1956; Sandstrom, 1982; Padilla y Sanchez, 1986; Goldhammer, 1999;).

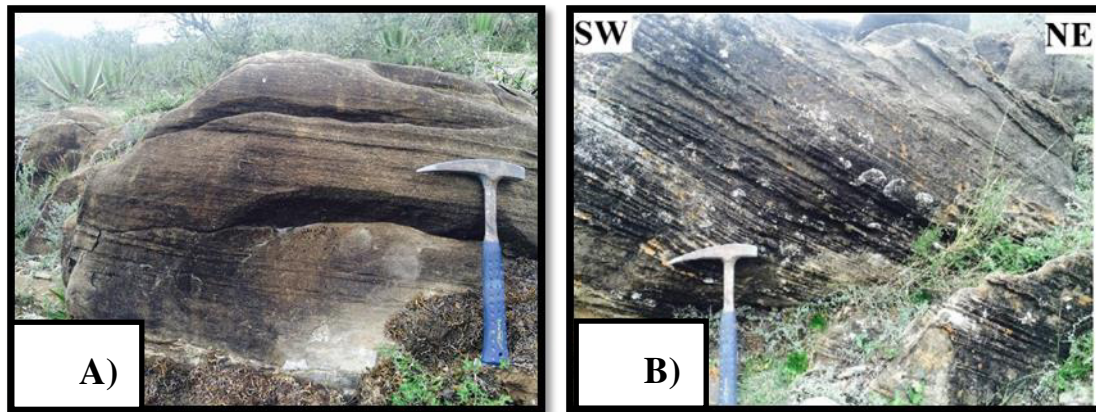
### Descripción en el área de estudio

La formación está conformada por intercalaciones de areniscas – calizas con espesores muy delgados, areniscas con espesores más gruesos y masas de yesos. En la zona de estudio se pueden dividir tres tipos de secuencias: la unidad basal cuenta con paquetes intercalados de areniscas y calizas con espesores delgados de aproximadamente 20 – 40 cm, esta zona cuenta con una considerable distribución de estas intercalaciones (Figura 3. 14; ver mapa geológico en el Anexo V).



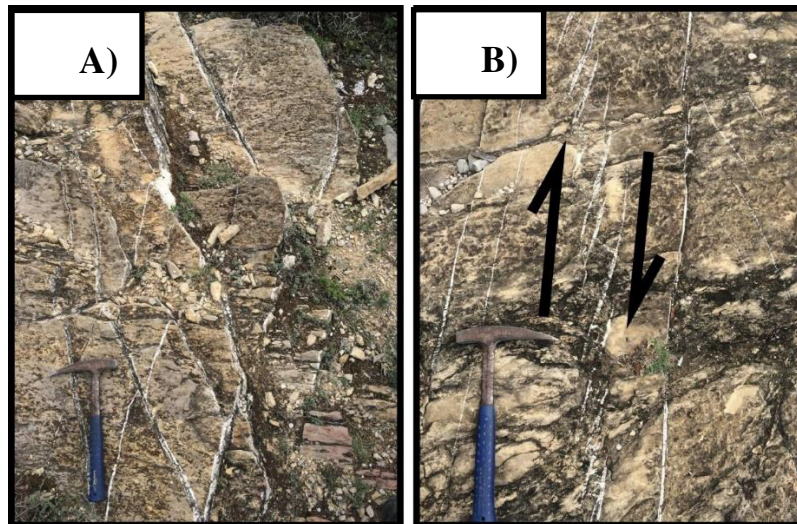
**Figura 3. 14:** Afloramiento perteneciente a la base de la Formación Olvido para el área de estudio, mostrando intercalaciones de calizas y areniscas de espesores delgados 10 – 20 cm (coordenadas UTM: 2672343m N – 14-0422093m E).

En ocasiones las areniscas de grano medio muestran superficies de erosión, presentándose como sistemas de flujo laminar y marcas de estratificación cruzada (Figura 3. 15A, B), lo que pueden aportar información sobre las paleocorrientes.



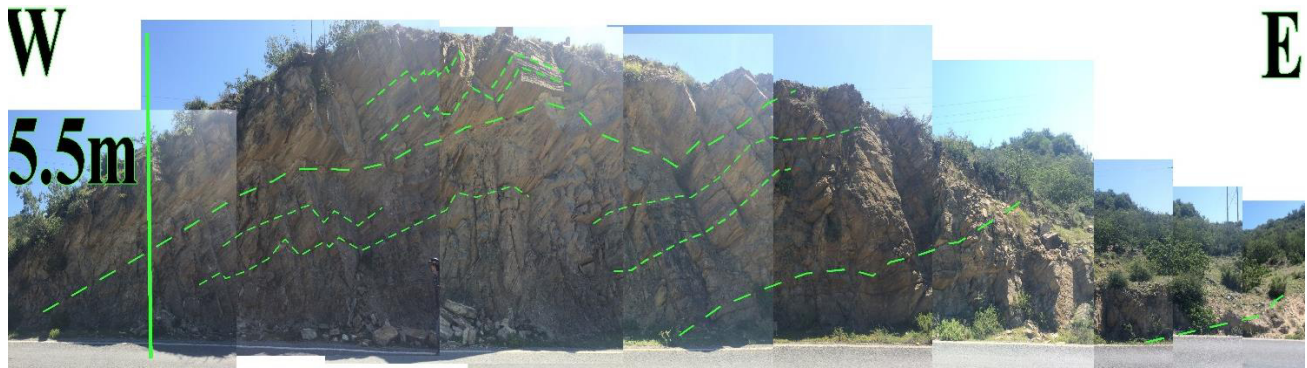
**Figura 3. 15:** Marcas de erosión que forman un tipo de sistema de flujo, **A)** Estratificación laminar, **B)** Estratificación cruzada, correspondiente a las areniscas de grano medio a grueso, de la Formación Olvido (coordenadas UTM: 2672399mN – 14-0422082m E).

En ciertas zonas (como es el caso del punto 14R 422063 E, 2672262N) la unidad clástica presenta cizallamiento reflejado por las cavidades rellenas de material calcio – carbonatado, formando vetillas y mostrando un arreglo de tipo escalonado (Figura 3. 16).



**Figura 3. 16: A-B)** Fracturamiento y cizallamiento interno de las areniscas que este mismo es relleno por vetillas de cuarzo (coordenadas UTM: 2672262m N – 14-0422063m E).

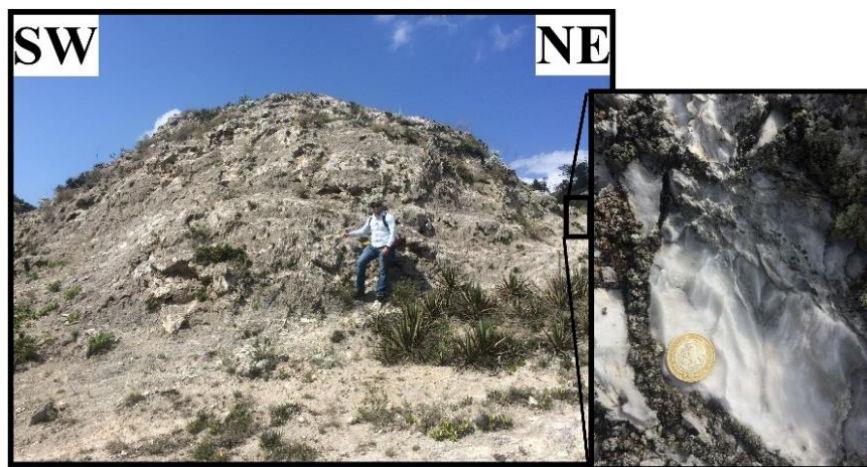
La segunda unidad cuenta con paquetes masivos de areniscas con tamaños de granos medianos a gruesos, que cuenta con una coloración café oscuro en intemperismo y color gris – crema en muestra fresca, muestran además un fracturamiento considerable y con cierto arreglo en la estratificación (Figura 3. 19B) con espesores que varían de ~ 80 – 70 cm y a ~ 35 a 20 cm los más delgados, este afloramiento se encuentra sobre el corte de la carretera, como se puede observar en la figura. 3.17 (ver Anexo I, para el fotoperfil II completo y el perfil B correspondiente).



**Figura 3. 17:** Paquetes de areniscas altamente fracturadas de la Formación Olvido, paquetes de 50 a 10 cm de espesores.

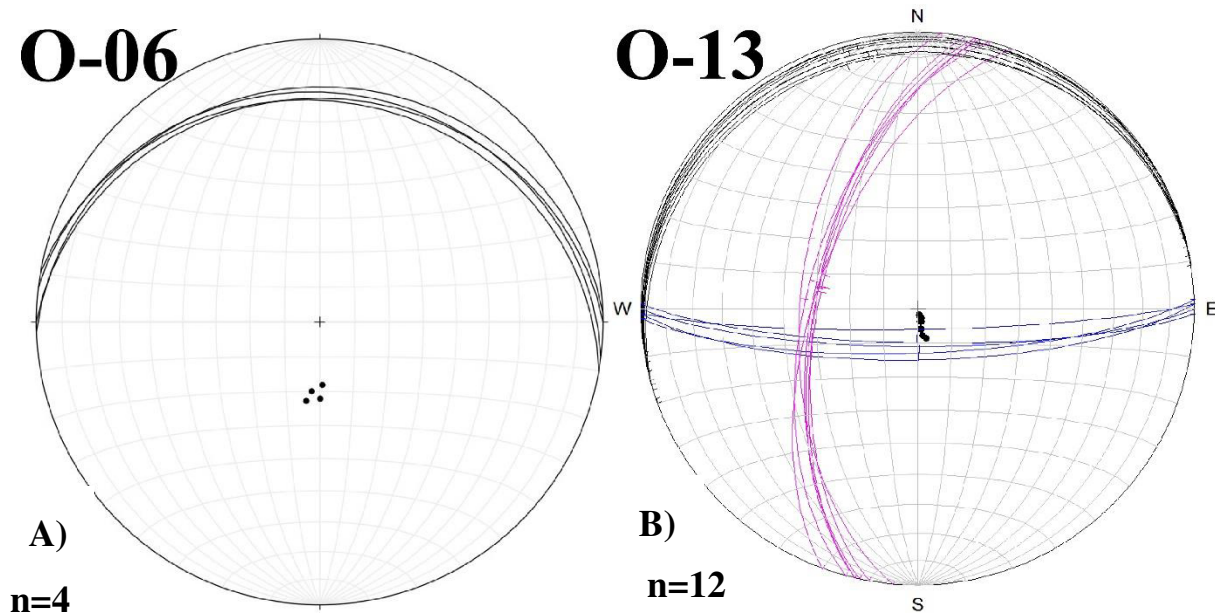
Ver Anexo I, fotoperfil II (coordenadas UTM: 2672616m N – 14-0422190m E).

La tercera unidad como bien se mencionó, se encuentra conformado por enormes masas de yesos (Figura 3. 18) que abarcan radios de aproximadamente 75 metros y representan la tercer unidad y techo de la formación y la cual subyacen sobre la Formación Zuloaga.



**Figura 3. 18:** Unidad de yesos que conforma el techo de la Formación Olvido (coordenadas UTM: 2673118m N – 14-0422071m E).

En esta formación, se observó la preferencia por el desarrollo de estratificación para los paquetes clásticos y en donde también el desarrollaron de fracturas, las cuales presentas dos tipos de direcciones una en W-E, y NE-SW, estas variaciones en las direcciones de rumbo y buzamiento parecen distintas a las demás unidades debido que es donde inicia el eje central de la bifurcación del anticlinal (Figura 3. 19B) ver tabla de datos estructurales en el Anexo III, y mapa geológico en el Anexo V.



**Figura 3. 19:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación Olvido, donde “n” representa el numero de datos tomados, **A)** Clave O-06. **B)** Clave O-13 en color azul fracturamiento en direccion (W-E) y morada la segunda direccion representada en color rosa muestra la direccion (NE-SW).

### 3.2.5 Formación Zuloaga (Jurásico Superior)

Esta formación fue inicialmente estudiada por Burckhardt (1906; 1930), en la parte norte de la república mexicana, refiriéndose como “*Caliza con Nerinea*”. Posteriormente fue definida como Formación Zuloaga por Imlay (1938), describiéndola principalmente como paquetes de calizas gris oscura de estratificación gruesa, con nódulos de pedernal y localmente con contenido de bivalvos, gasterópodos, corales etc., designando como localidad tipo a la Sierra de Sombrerillo al norte de Melchor Ocampo, Zacatecas.

La Formación Zuloaga se correlaciona al norte y oeste de México con la Formación La Gloria, al sur con la Formación Olvido y al este, noroeste y sureste con la Formación Novillo (Padilla y Sánchez, 1982), mientras que, en los Estados Unidos se correlaciona con la *Smackover* al sur de Arkansas (Imlay 1953; Salvador 1991). La edad ha sido propuesta del Oxfordiano, pero con estudios y correlaciones estratigráficas reportadas consideran que la edad de la Formación Zuloaga es del Oxfordiano – Kimmeridgiano.

Sin embargo, la edad aún queda en disputa, ya que se necesita mayor información tanto paleontológica como estratigráfica, por lo que hasta el momento, el dato más confiable para asignar la edad es la superposición de amonites del Kimmeridgiano Inferior y su relación lateral con la Formación La Gloria que contiene amonites del Oxfordiano, por lo que queda muy restringida la edad como lo ha sido interpretada por varios autores (Imlay 1938; 1953; Longoria 1984; Götte 1988; Salvador 1991; Pessagno & Martin 2003).

El ambiente de depósito se menciona que se formó cercano a la costa con escaso aporte de terrígenos, en aguas someras o bien en zonas neríticas como son en la zona de barrera (Figura 3. 25; Imlay, 1953; Pessagno & Martin, 2003). Además, según Götte & Michalzik (1992), explica que esta formación mesozoica refleja el desarrollo geotectónico del Golfo de México durante el Jurásico, antes de la sedimentación de paquetes marinos profundos de la Formación La Casita.

### Descripción en el área de estudio

La Formación Zuloaga, se presenta de manera discontinua a través del área de cartografiada, aflorando en las partes superiores de ciertos cerros, en la cual consiste de calizas, calizas dolomíticas muy masivas, de aproximadamente 14 m sin estratificación, la coloración de la caliza es gris claro y en interperismo colores cremas muy masivos (Figura 3. 20).



**Figura 3. 20:** Caliza masivas con carstificación de la Formación Zuloaga (coordenadas UTM: 2673199m N – 14-0422226m E)

Más hacia la cima se encuentra calizas de colores grises claros con presencia de estratificación de paquetes de aproximadamente 10 cm, con un total espesor de aproximado de 6 m, donde se puede reconocer marcas de carstificación (Figura 3. 21).



**Figura 3. 21:** Caliza con presencia con carstificación de la Formación Zuloaga (coordenadas UTM: 2673203m N – 14-0422215m E).

En el techo de la unidad se encuentra calizas de colores gris oscuro muy masivo de 6 m de espesor (Figura 3. 22), sin estratificación, con ooides.



**Figura 3. 22:** Caliza masiva de colores oscuros de la Formación Zuloaga (coordenadas UTM: 2673177m N – 14-0422260m E)



### 3.2.6 Formación La Casita (Jurásico Superior)

La Formación La Casita fue definida por Imlay (1936), describiéndola como una secuencia intercalada de lutita calcárea, lutita carbonosas, areniscas y escasos horizontes de caliza, calizas arenosas y que contiene muchas veces horizontes de fosforita y concreciones fosilíferas ricas en amonoideas. Su localidad tipo se ubica en el Cañón La Casita, el cual se encuentra al sur de General Cepeda, Coahuila. Se correlaciona en norte y noreste de México con la Formación La Caja diferenciándola de La Casita por ausencia de clástico.

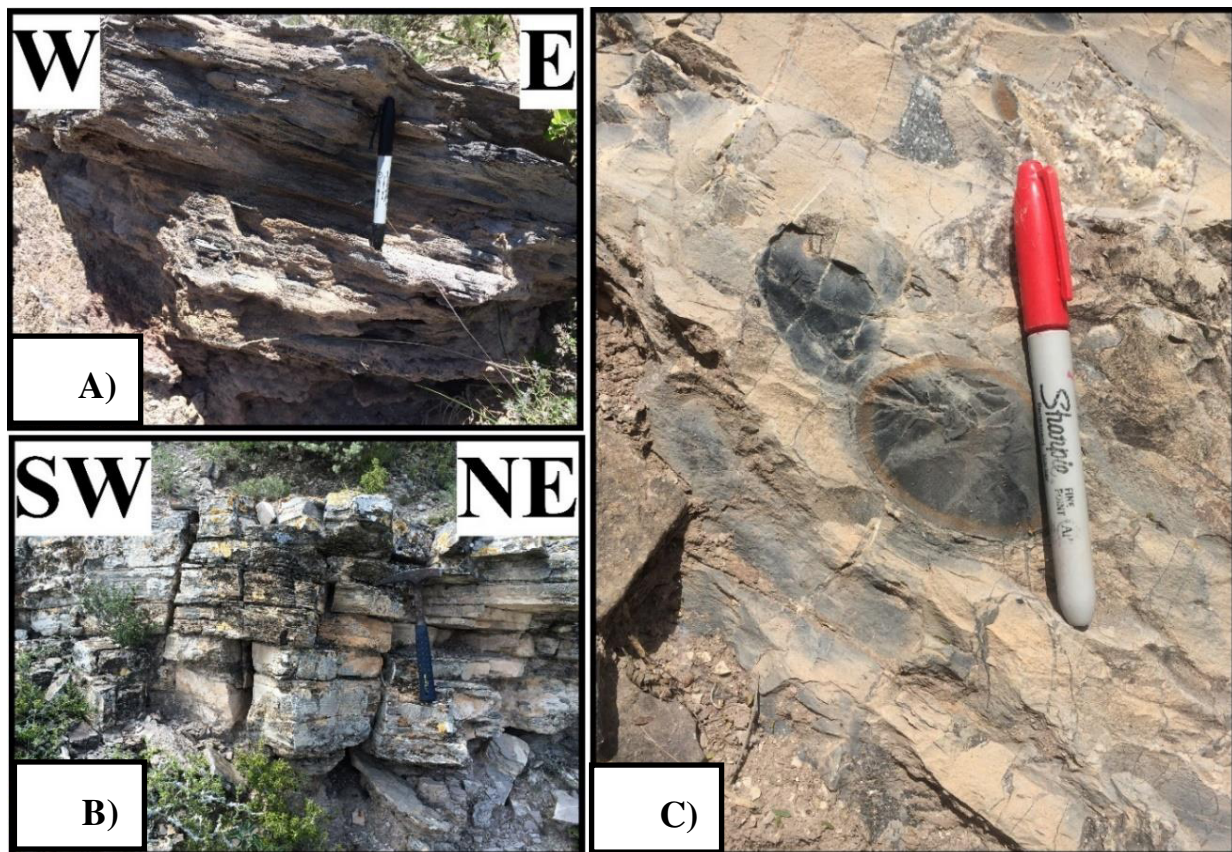
La edad asignada para la Formación La Casita con basé al contenido paleontológico es del Kimmeridgiano Inferior – Tithoniano Tardío su cima de la formación coincide con el límite Jurásico – Cretácico para el noreste de México.

Imlay (1936) designa que para el tipo de ambiente de depósito es probablemente de ambiente lagunar y que la presencia de carbón indica condiciones de aguas salobres y que en algunos intervalos la laguna pudo estar conectada con el mar y que gradualmente va pasando a cuenca (lutita, marga y calizas) por lo que Michalzik (1987) propone que para algunas localidades el ambiente de depósito es de abanico deltáico predominantemente fluvial (*fan delta complex*), aunque se pueden ver variaciones de facies desde talud de plataforma hasta cuenca marina abierta (Figura 3.25) en la región entre Iturbide y Galeana.

En general, la Formación La Casita se desarrolló hacia el SE frente a la paleoisla de Coahuila y al occidente del archipiélago de Tamaulipas.

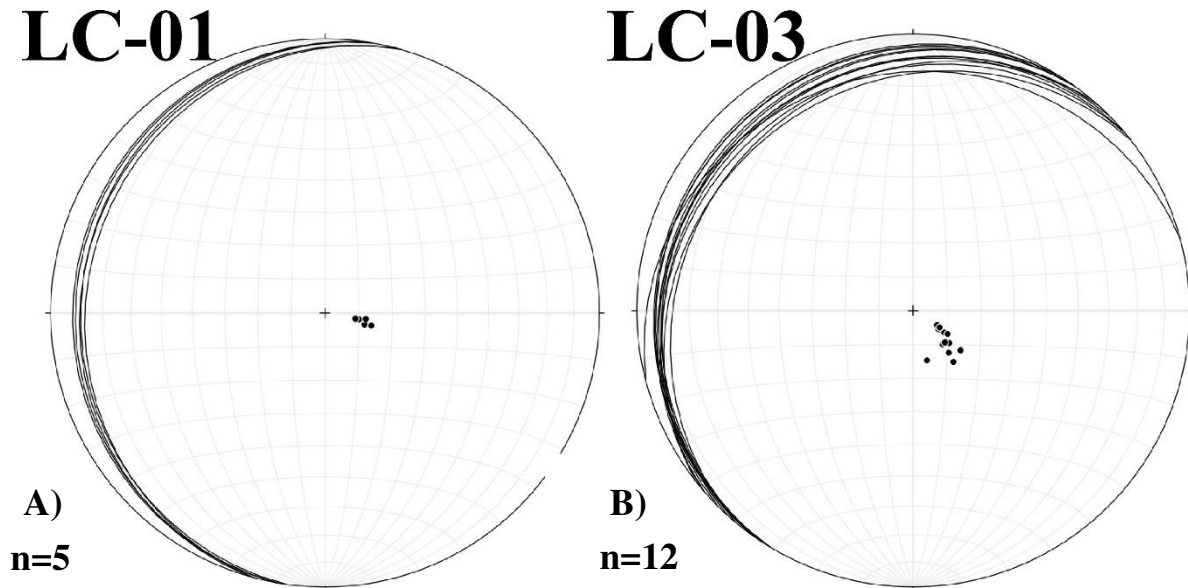
### Descripción en el área de estudio

La Formación La Casita sobreyace a las formaciones Olvido y Zuloaga y en el área de estudio se encuentra muy alterada (lo que dificulta para su análisis), conformada por lutitas calcáreas laminadas y material arcilloso de color gris claro en interperismo a gris oscuro, los espesores son relativamente delgados de rangos de 5 a 10 cm. Se tiene así misma presencia de calizas muy arcillosas en la cual presenta nódulos de fosfato de color negro con diámetros de ~ 5 cm, además en la zona pueden aparecer estos nódulos en impresión en lo cual al quebrarlo despide un olor fétido debido al contenido de materia orgánica o al fosfato (Figura 3. 23).

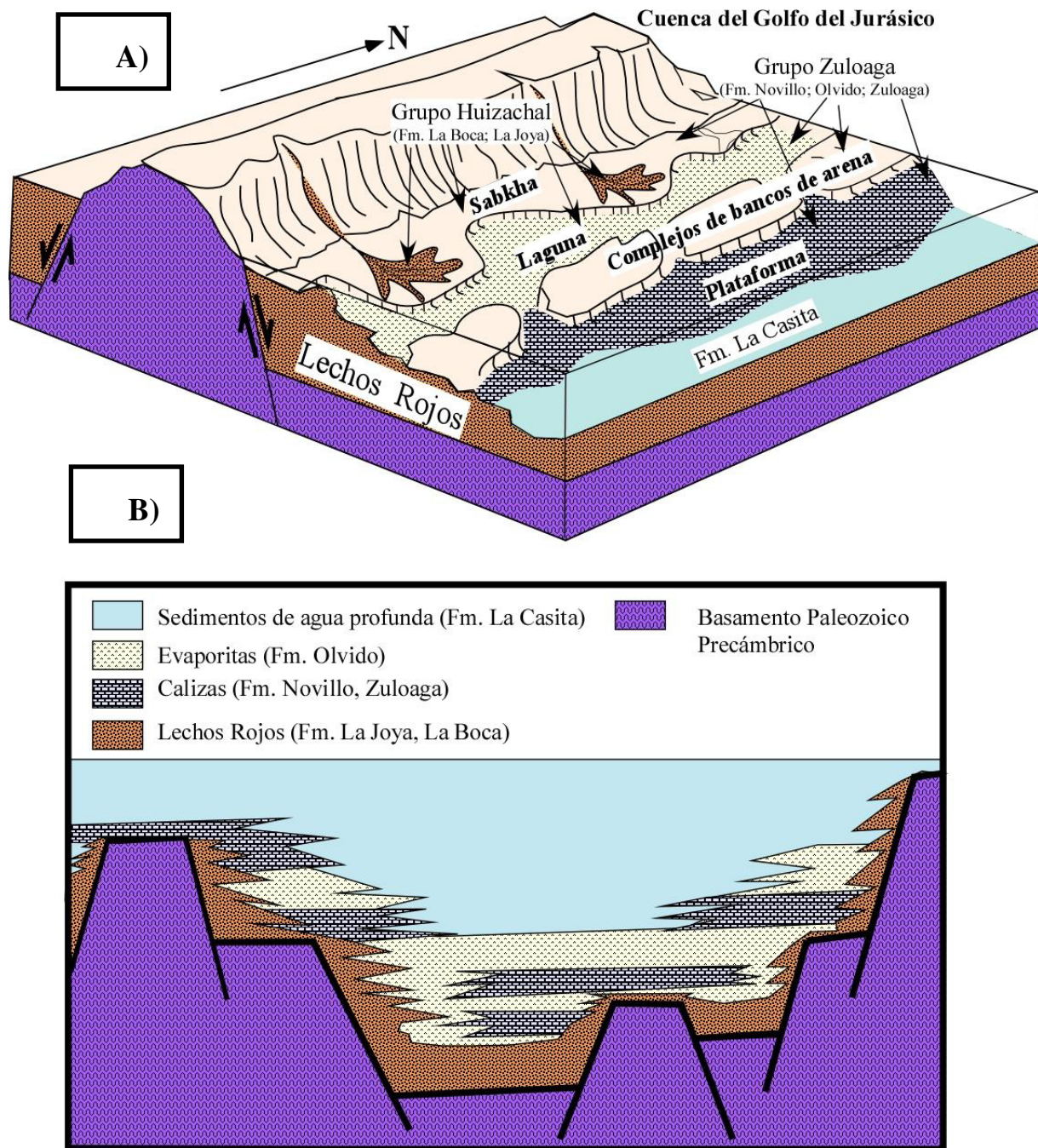


**Figura 3. 23:** Formación La Casita A) Lutitas muy laminadas de color gris claro B) Calizas arcillosas C) Nódulos de fosfatos embebidos en caliza arcillosa (coordenadas UTM: 2673239m N – 14-0422043m E).

Se midieron en dos puntos (LC-01 y LC- 03) consecutivos en donde se apreciar buenos planos de estratificación, como se aprecia en la Figura 3. 23A – B presentando una dirección preferencial en promedio de alrededor de  $\sim 190 / 10$  (Figura 3. 24 B; ver el mapa geológico del Anexo V y tabla de datos estructurales en el Anexo IV, para la ubicación y mediciones los diagramas de Schmidt).



**Figura 3. 24:** Diagrama de Schmidt con mediciones estructurales de la Formación La Casita, donde “n” representa los datos tomados, **A)** Clave LC-01. **B)** Clave LC-03 .

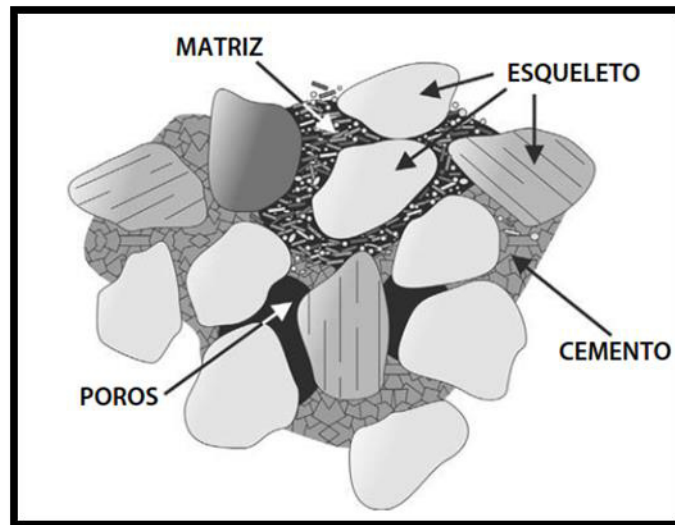


**Figura 3. 25:** A) Modelo de deposición para los Grupos Huizachal y Zuloaga para el Jurásico, B) Esquema estratigráfico de un sistema de *rift*. Donde en áreas bajas (*grabenes*) se presentan los depósitos carbonatados y evaporíticos, mientras que en los altos (*horst*) se presentan unidades clásticas (modificado de Sandstrom, 1982).

## 4 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

### 4.1 Introducción

Las areniscas son rocas sedimentarias pertenecientes a depósitos detríticos que estos se generan por la acumulación en cuencas de sedimentación de materiales en estado sólido, procedentes generalmente de rocas preexistentes. Este particular origen hace que el depósito detrítico presente una fábrica clástica, constituida por: (1) un esqueleto o conjunto de clastos que forman el armazón del depósito, (2) material intersticial que puede ser detrítico infiltrado (matriz) o químico de origen diagenético (cemento) y (3) una porosidad remanente (Arribas, J., 2010; Figura 4. 1)



**Figura 4. 1:** Esquema de la estructuración de una roca detrítica (Arribas, J., 2010).

En función del tamaño de los clastos que configuran el esqueleto se diferencian tres grupos de depósitos detríticos consolidados (rocas): conglomerados (tamaños mayores a 2mm), areniscas (2-1/16 mm) y lutitas (tamaños menores a 1/16mm); y sus consolidados (sedimentos): gravas, arenas y pelitas, respectivamente.

Los métodos de estudio de los depósitos detríticos han tenido un gran desarrollo en el grupo de las areniscas, debido a ciertas ventajas las cuales son: la abundancia que presentan estas rocas, por presentar un tamaño idóneo para el empleo de técnicas microscópicas ópticas (petrográficas), ya que en lámina delgada puede analizarse una porción del depósito estadísticamente representativa, así como

también, por ser del tamaño arenoso (2-1/16 mm) el menor tamaño de clastos y que ofrece mayor información sobre su origen, mientras que las fracciones inferiores (pelitas y lutitas) se enriquecen en minerales de arcilla, y generalmente son producto de alteraciones de minerales de la roca de procedencia, perdiéndose de este modo las señales directas de dicha fuente. Por último, otra de la ventaja es debido al interés económico que ofrecen los depósitos arenosos como posibles yacimientos de placeres y su comportamiento como almacenes potenciales de hidrocarburos (Arribas, J., 2010).

Entonces, dado a que no se cuentan con trabajos composicionales previos sobre las unidades clásticas en el área de estudio, se intentó resaltar este aspecto realizando un estudio petrográfico y utilizando herramientas complementarias, tales como análisis geoquímicos de elementos mayores, trazas y tierras raras (CAPÍTULO VI), para así poder establecer con mayor precisión no solo la composición de la roca, sino también el área de aporte y/o procedencia tectónica.

## 4.2 Elaboración de láminas delgadas

Para la elaboración de láminas delgadas se llevó a cabo en el laboratorio de preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L para su posterior análisis.

El método o los pasos para obtener una sección delgada son los siguientes:

- En primer lugar se tiene que cortar la muestra de roca en la Sala de Corte con la sierra de borde de diamante para obtener un cubo de aproximadamente 3.5 x 2 x 3.5 cm y así superficie plana.
- Una vez obtenida una superficie plana se pulimenta con polvo abrasivo de carburo de silicio tamaño 200, para eliminar las huellas del corte y obtener un plano lo más suave posible
- Se continúa puliendo sobre una placa de vidrio con polvos más finos (400, 600 y 800), cambiando la malla y lavando la muestra entre cada cambio de polvo, para evitar rayaduras.
- Una vez logrado que la superficie quede fuera de marcas, la superficie pulida del cubo se pega con resina sobre un portaobjetos de vidrio.
- Por último se continúa el desgaste de la lámina hasta obtener un espesor de aproximadamente 30 micras, el cual es controlado debido a los colores de interferencias que presentan ciertos minerales, tales como cuarzos, plagioclasas y feldespatos alcalinos.

### 4.3 Método de Petrográfico

Para obtener una composición global del esqueleto del depósito arenoso se debe de analizar bajo un punto de vista poblacional de sus constituyentes detríticos y, por tanto, empleándose métodos estadísticos apropiados. En primer lugar se debe de tener la elaboración de una base de datos sobre los parámetros primarios (Tabla 4. 1) que exprese la información sobre la distribución de los distintos tipos de elementos clásticos.

Mediante el empleo de un microscopio óptico, se utiliza la platina graduada para que permita el movimiento de la lámina delgada a ciertos intervalos de distancia formando una red imaginaria de puntos en un sistema de coordenadas ( $x - y$ ). Esta técnica se registra por cada punto la composición del grano localizado en el centro de la retícula. Dependiendo de los objetivos del conteo de partículas es la metodología empleada y sus restricciones (Ej. solo contar las partículas o también la matriz cementante, o bien granos de una sola composición).

**Tabla 4. 1:** Parámetros petrográficos más frecuentes empleados en distintos diagramas composicionales.

---

• **Granos de cuarzo ( $Q_t = Q_m + Q_{pm} + Ch$ )**

**Q<sub>t</sub>:** granos totales de cuarzo

**Q<sub>mr</sub>:** cuarzo monocristalino con extinción recta

**Q<sub>mo</sub>:** cuarzo monocristalino con extinción ondulosa

**Q<sub>p 2-3</sub>:** cuarzo polícristalino con menos de tres individuos

**Q<sub>p >3</sub>:** cuarzo polícristalino con más de tres individuos

**Ch:** cuarzo policristalino de grano muy fino (*chert*)

---

• **Granos de feldespatos ( $F = P + K$ )**

**F:** granos totales de feldespatos

**K:** granos de feldespato potásico

**P:** granos de plagioclasa

---

• **Fragmentos líticos ( $L_t = Q_p + Ch + L_v + L_m + L_s$ )**

**L<sub>i</sub>:** fragmentos líticos inestables totales ( $L_v + L_m + L_s$ )

**L:** fragmentos líticos inestables totales ( $L_i + Ch$ )

**L<sub>v</sub>:** fragmentos líticos volcánicos

**L<sub>m</sub>:** fragmentos líticos metamórficos

**L<sub>s</sub>:** fragmentos líticos sedimentarios

---

**M:** Micas = ( $Bi + Ms$ )

**Bi:** Biotita

**Ms:** Muscovita

**Chl:** Clorita

**Ox:** Óxidos de Fe

**HM:** Minerales pesados (**Zr:** Circón o **Apt:** Apatito)

**Cm:** Matriz cementante

---

Los métodos petrográficos más utilizados para la determinación cuantitativa de la composición modal de las areniscas a partir de parámetros de conteo (Tabla 4. 1) se basan generalmente en los criterios propuestos por Dickinson & Suczek (1979); Dickinson *et al.* (1983) y Dickinson (1985).

La finalidad de esta elección se basa en facilitar la ubicación de los resultados en los diagramas clasificatorios y de procedencia, es decir, clasifica los depósitos detríticos, en los distintos ambientes tectónicos (Tabla 4. 4) en los que se generan y que se consideran como diagnósticos de la procedencia. Los resultados de los puntos contabilizados y los parámetros recalculados para la utilización de los diferentes diagramas se muestran más adelante.

Sin embargo, sobre las secciones delgadas, se realizó el análisis del conteo de alrededor 500 clastos por cada muestra, utilizando el método de Gazzi – Dickinson o G – D (Gazzi, 1966; Dickinson, 1985) para la determinación de la composición modal. Esta metodología de conteo minimiza la dependencia existente entre la composición de la roca y el tamaño de grano, por lo que el método considera clasificar las partículas del tamaño de arena que se encuentran dentro del detrito, como fragmento monomineral (grano mayor a 0.062 mm), de lo contrario si el tamaño es inferior y aparece en asociación con otros componentes de dimensiones equivalentes en la sección del clasto, se considera como un fragmento lítico (L).

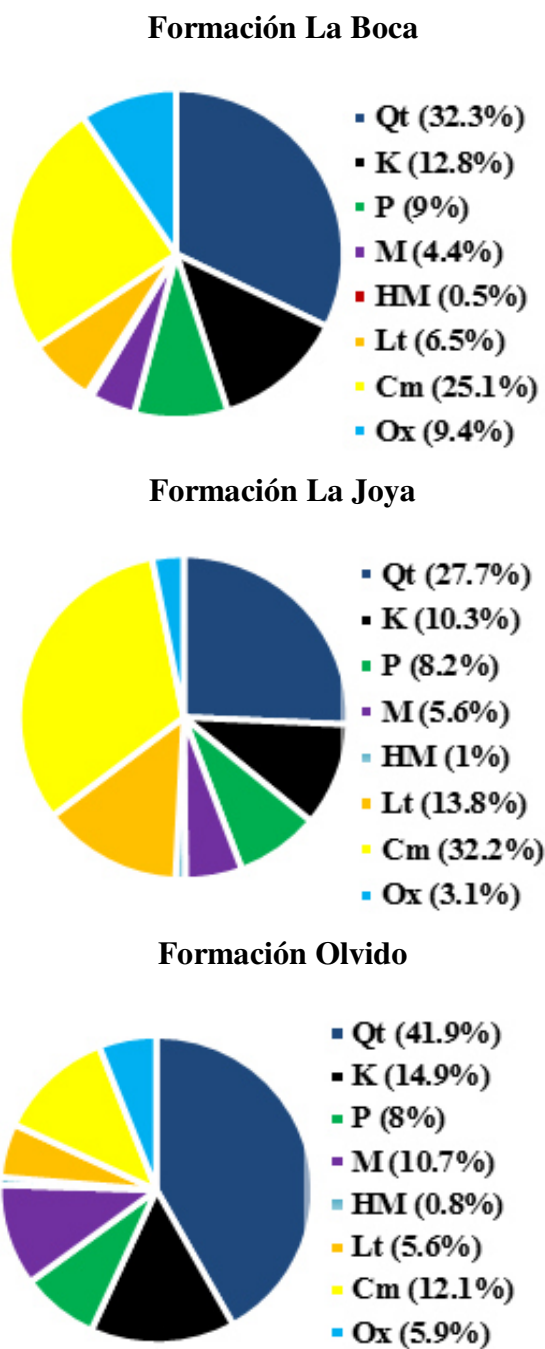
Se analizaron un total de 20 muestras en láminas delgadas de areniscas de grano medio – grueso provenientes del perfil levantado en el Cerro La Cruz, mismos de las cuales 6 pertenecientes a la Formación La Boca, 3 a la Formación La Joya y por ultimo 11 pertenecientes a la Formación Olvido.

#### **4.4 Resultados de los análisis petrográficos cuantitativos**

Las muestras analizadas han sido clasificadas de acuerdo a nomenclaturas que van desde grauvacas, litoarenita y arcosa, teniendo una tendencia en la madurez del sedimento hacia la cima o techo de la secuencia del perfil estratigráfico tomado de campo (Ver Anexo II).

Los componentes encontrados en cada una de las muestras analizadas petrográficamente van en mayor parte de Cuarzos (Qt), Feldespatos (F) y Líticos totales (Lt) y menos frecuentes Micas (Bi y Ms), Óxidos de Fe a excepción de las muestras de la Formación La Boca, quien presenta un aumento en Óxidos de Fe (Figura 4. 2).



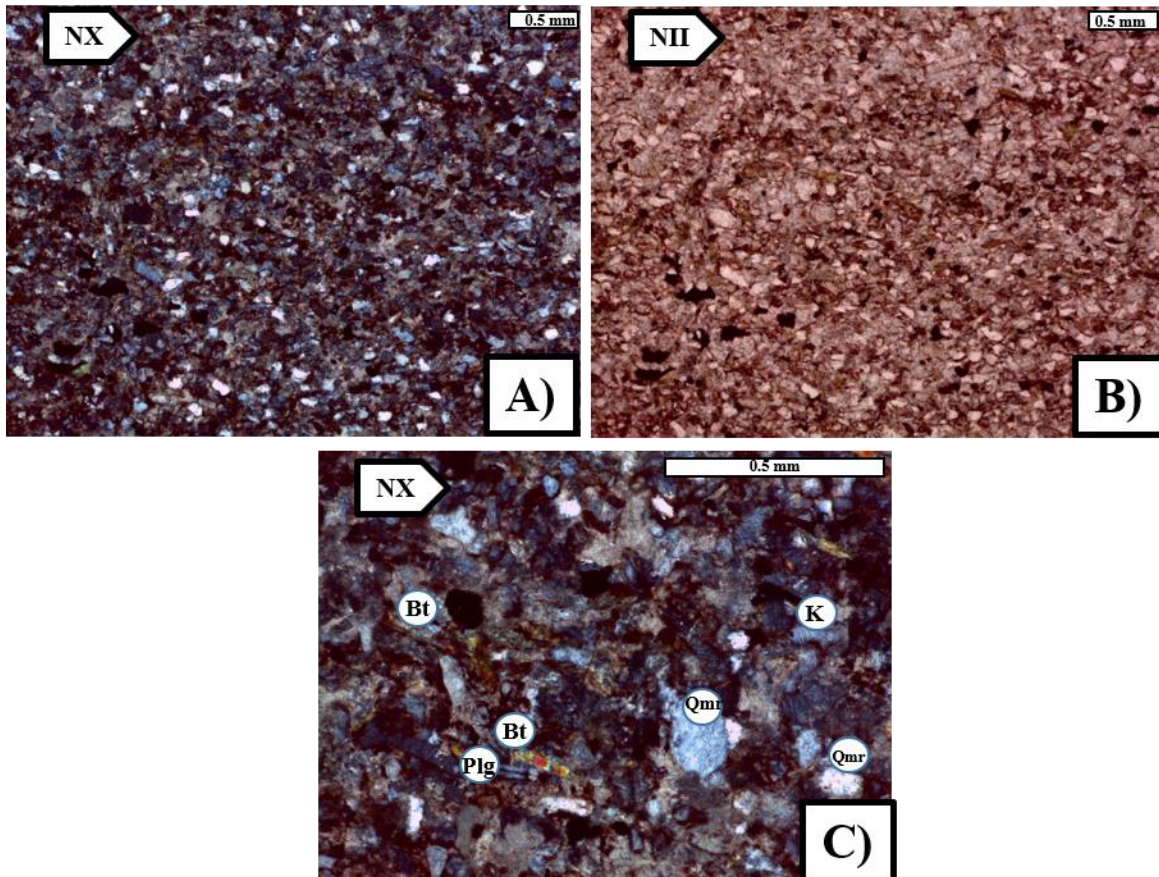


**Figura 4. 2:** Graficas con el porcentaje en promedio de los componentes petrográficos para las formaciones clásicas del área de estudio. Azul: Qt, Negro: K, Verde: P, Morado: M, Naranja: Lt, Amarillo: Cm, Celeste: Ox.

#### 4.4.1 Formación La Boca

##### 4.4.1.1 Muestra: BOCA – 02, Figura 4. 3.

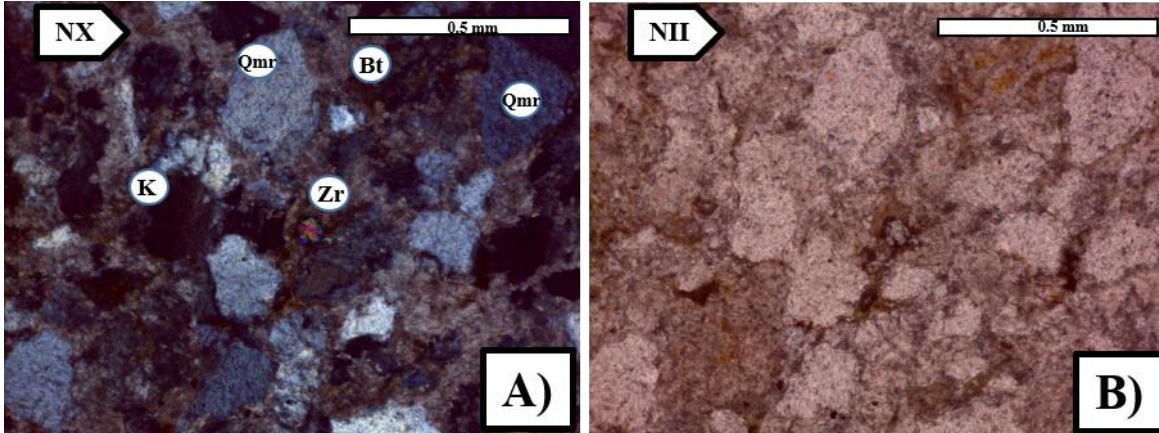
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca feldespática



**Figura 4. 3:** Madurez textural pobre con una clasificación de granos < 0.5mm, angulosos mal sorteados de A – B) cuarzoes (Qm, Qmo, Qp), feldespatos (K, P), además están presentes en menor cantidad Micas (Bt y Ms) y Líticos (Lv y Ls). Los granos se encuentran embebidos por cemento constituido por arcillas y óxidos de Fe. Aumento de 2.5x, C ) Biotita, Cuarzos (Qmo, Qmr), en un aumento de 10x. **Abreviaciones** NX= Nicles cruzados y NII= Nicles paralelos.

#### 4.4.1.2 Muestra: BOCA – 03, Figura 4. 4

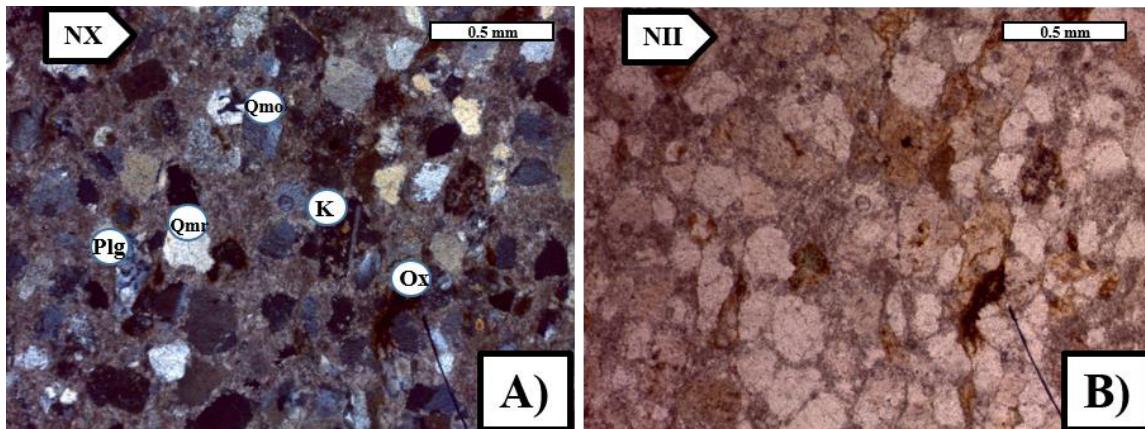
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca fel despática



**Figura 4. 4:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qmr), Feldespatos (K) y minerales densos (Zr) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 10x. **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos.

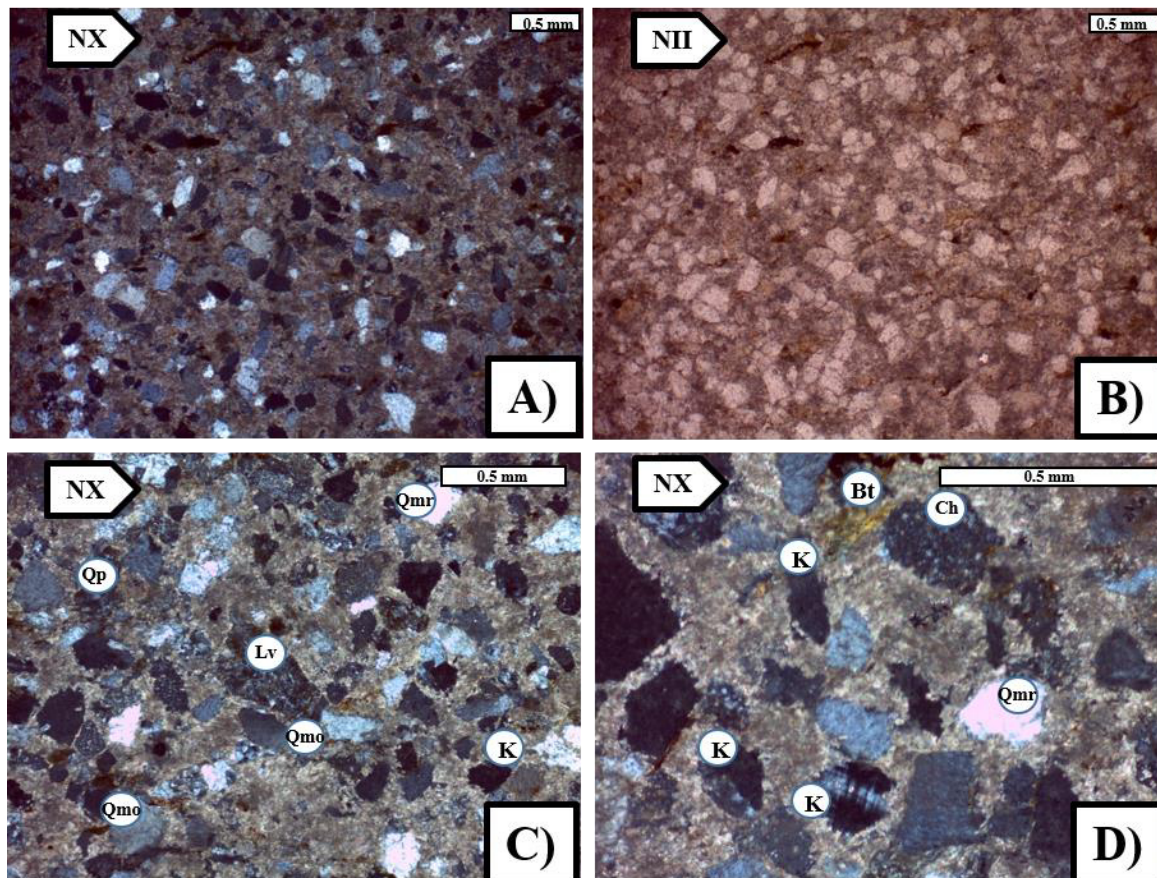
#### 4.4.1.3 Muestra: BOCA – 04, Figura 4. 5

Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca Arcosica



**Figura 4. 5:** Madurez textural pobremente clasificada inmadura con granos subangulosos sin contacto y consta en su mayoría de A – B) cuarzoes (Qmr, Qmo), Feldespatos (Plg, K), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 4x. **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos.

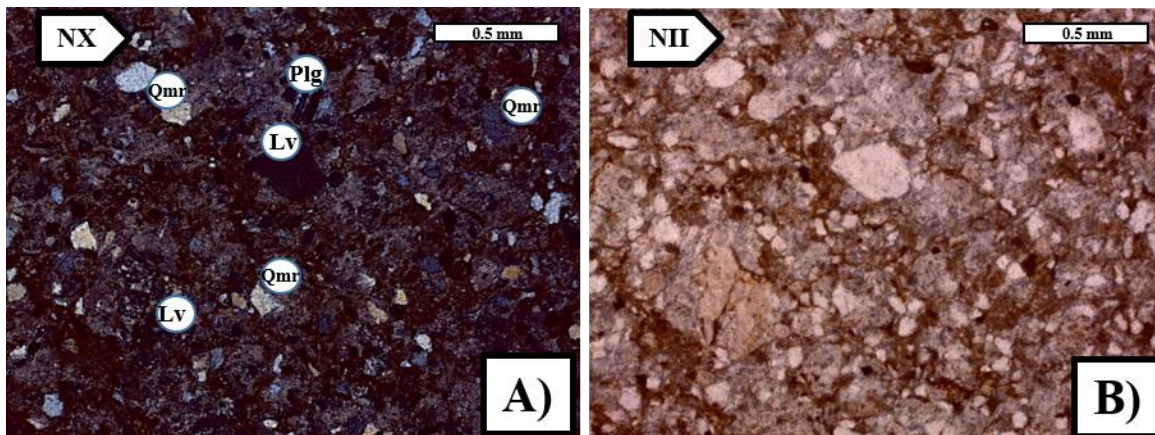
## 4.4.1.4 Muestra: BOCA – 05, Figura 4. 6

Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca Arcosica

**Figura 4. 6:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subredondeados y consta en su mayoría de **A – B)** cuarzo (Qmr, Qp, Qmo), Feldespatos (Plg, K), Líticos volcánico (Lv) en menor proporción micas (Bt) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. **C – D)** cuarzos (Qmo, Qmr, Qp) feldespatos (K), Biotita (Bt), Pedernal (Ch) y óxidos de Fe, aumento 4x. **Abreviaciones** Nx= Nícoles cruzados, NII= Nícoles paralelos.

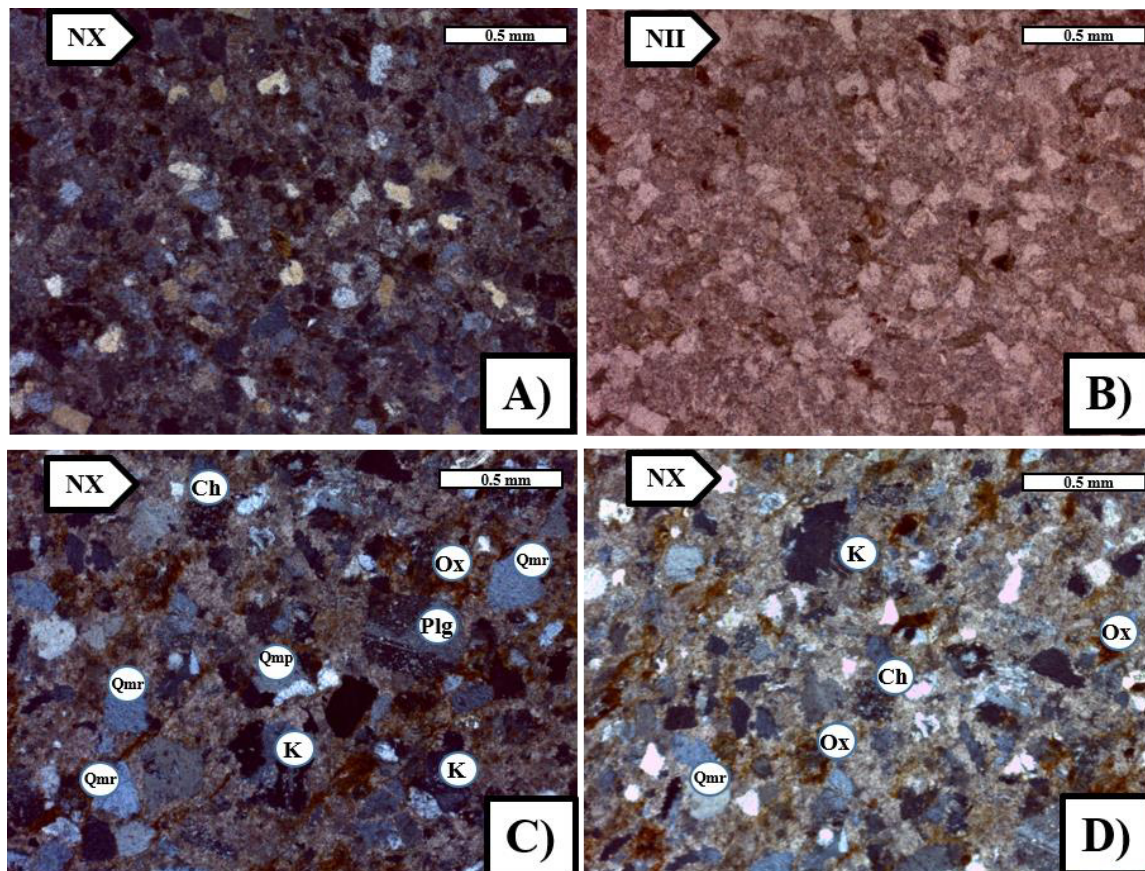
## 4.4.1.5 Muestra: BOCA – 06, Figura 4. 7

Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca feldespática



**Figura 4. 7:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qmr), Feldespatos (Plg) y líticos volcánicos (Lv), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos

## 4.4.1.6 Muestra: BOCA – 07, Figura 4. 8

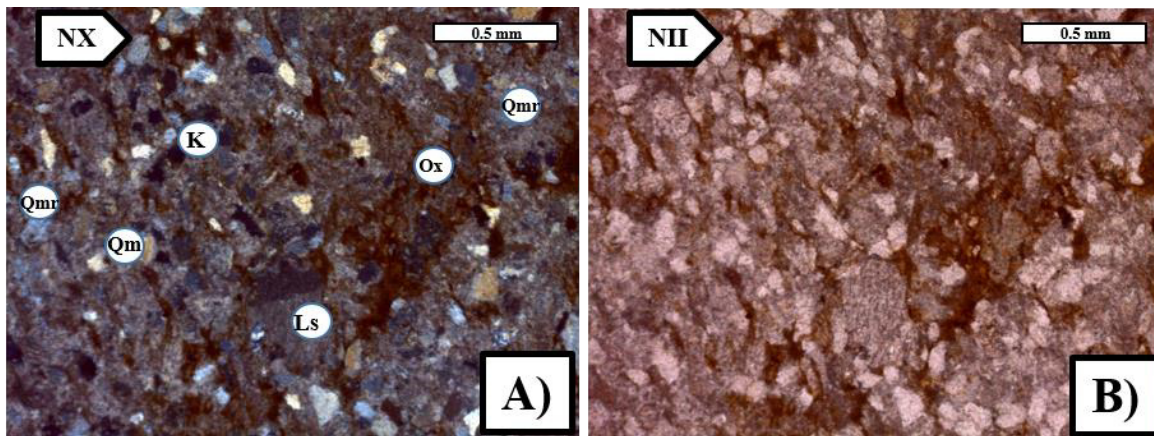
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca Arcosica

**Figura 4. 8:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de **A – B)** cuarzo (Qmr, Qmo, Qp), Feldespatos (Plg, K), Pedernal(Ch), Líticos (Lv – Ls) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, **C)** Feldespatos (Plg, K), cuarzos (Qmr, Qp), pedernal (Ch) con oxidos de Fe, **D)** Feldespatos y Cuarzos. Aumento 4x, **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, **NII**= Nicoles paralelos.

#### 4.4.2 Formación La Joya

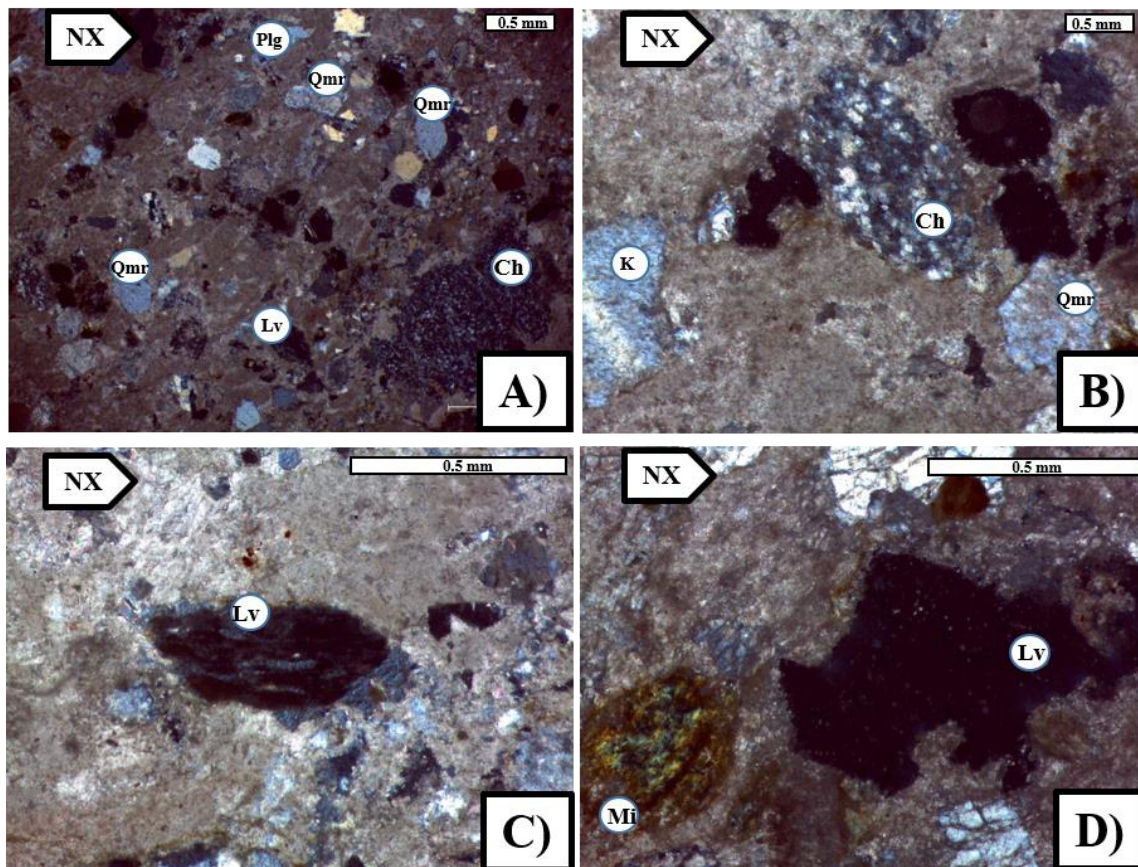
##### 4.4.2.1 Muestra: JOYA – 02, Figura 4. 9

Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca – feldespática



**Figura 4. 9:** Madurez textural pobre clasificación, con granos subredondeados sin contacto entre granos y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm, Qmo), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi) embebidos por cemento arcilloso con óxido de Fe, aumento 2.5x. **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos

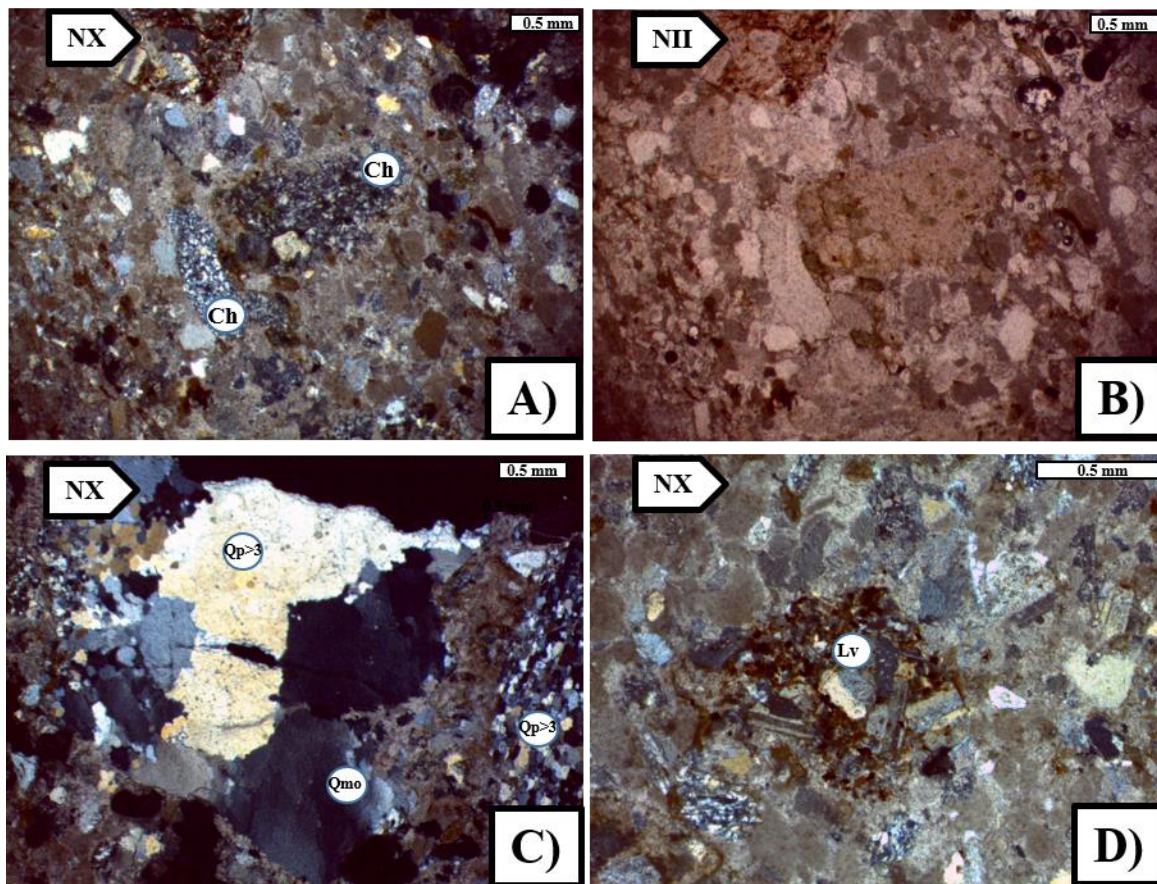
## 4.4.2.2 Muestra: JOYA – 03, Figura 4. 10

Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca Lítica

**Figura 4. 10:** Madurez textural pobremente clasificada con granos subredondeados sin contacto entre granos y consta en su mayoría de **A)** cuarzos (Qmr), Feldespatos (Plg), Líticos (Lv) en menor cantidad micas (Bi) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 2.5x, **B)** Pedernal (Chert), Feldespatos (K), aumento 2.5x, **C)** Lítico volcánico, aumento 10x, **D)** Mica glauconítica y Lítico volcánico, aumento 10x. **Abreviaciones** Nx= Nícoles cruzados, NII= Nícoles paralelos



## 4.4.2.3 Muestra: JOYA – 04, Figura 4. 11

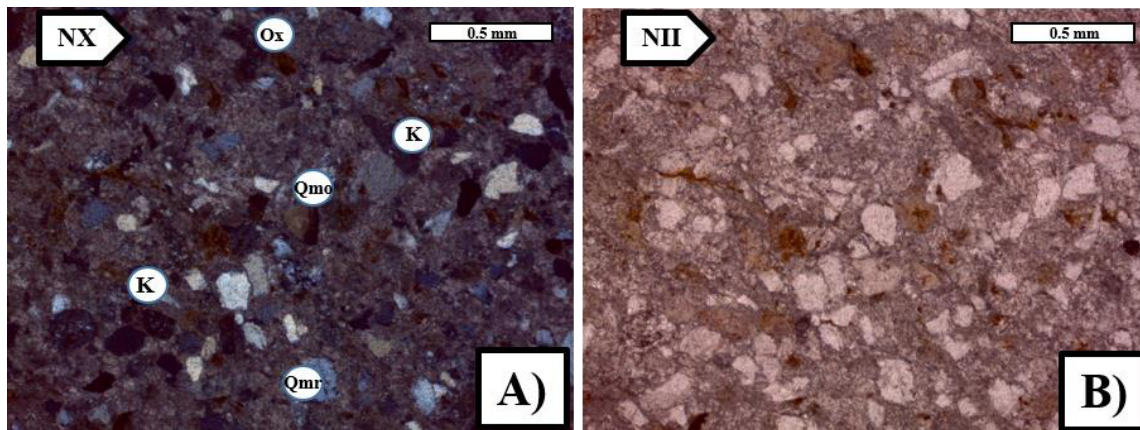
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca Arcosica

**Figura 4. 11:** Madurez textural pobremente clasificada, con granos subredondeados sin contacto entre ellos y consta en su mayoría de **A –B)** cuarzos, Feldespatos, Pedernal (Ch), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 2.5x, **C)** Cuarzos polícristalinos (Qp2-3, Qp>3), Cuarzo onduloso (Qmo) aumento 2.5x, **D)** Lítico volcánico con feldespatos, aumento 4x. **Abreviaciones** Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos

### 4.4.3 Formación Olvido

#### 4.4.3.1 Muestra: OLVIDO – 02, Figura 4. 12

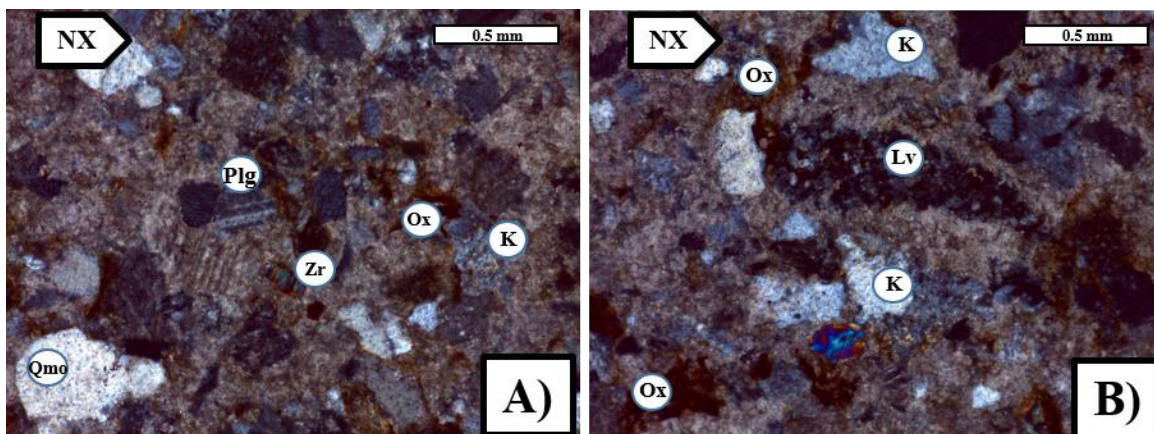
Clasificación de las rocas (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca cuarzo – feldespáticas



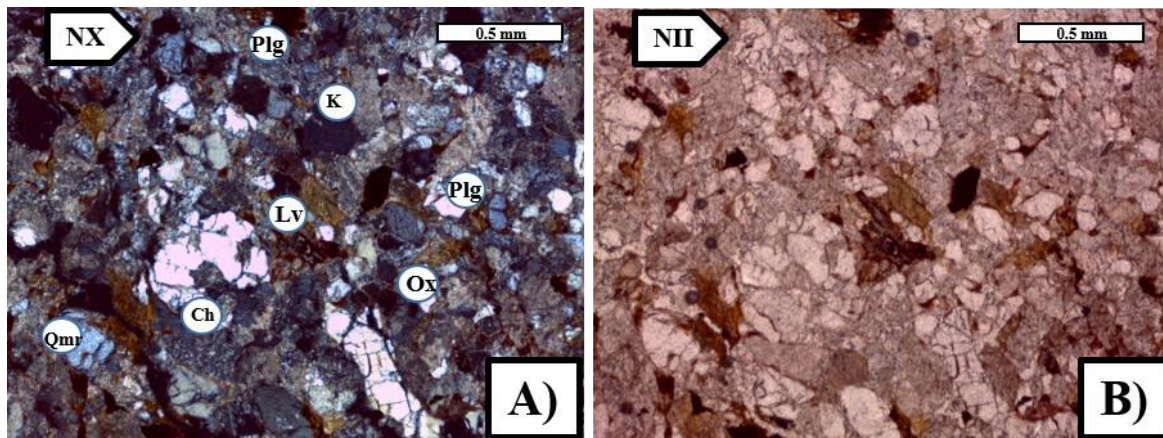
**Figura 4. 12:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de **A – B)** cuarzos (Qmr, Qmo), Feldespatos (K), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 4x. Abreviaciones Nx= Nicles cruzados, NII= Nicles paralelos.

#### 4.4.3.2 Muestra: OLVIDO – 03, Figura 4. 13

Clasificación de las rocas (Pettijohn *et al.* 1987): Grauwaca cuarzo – feldespáticas



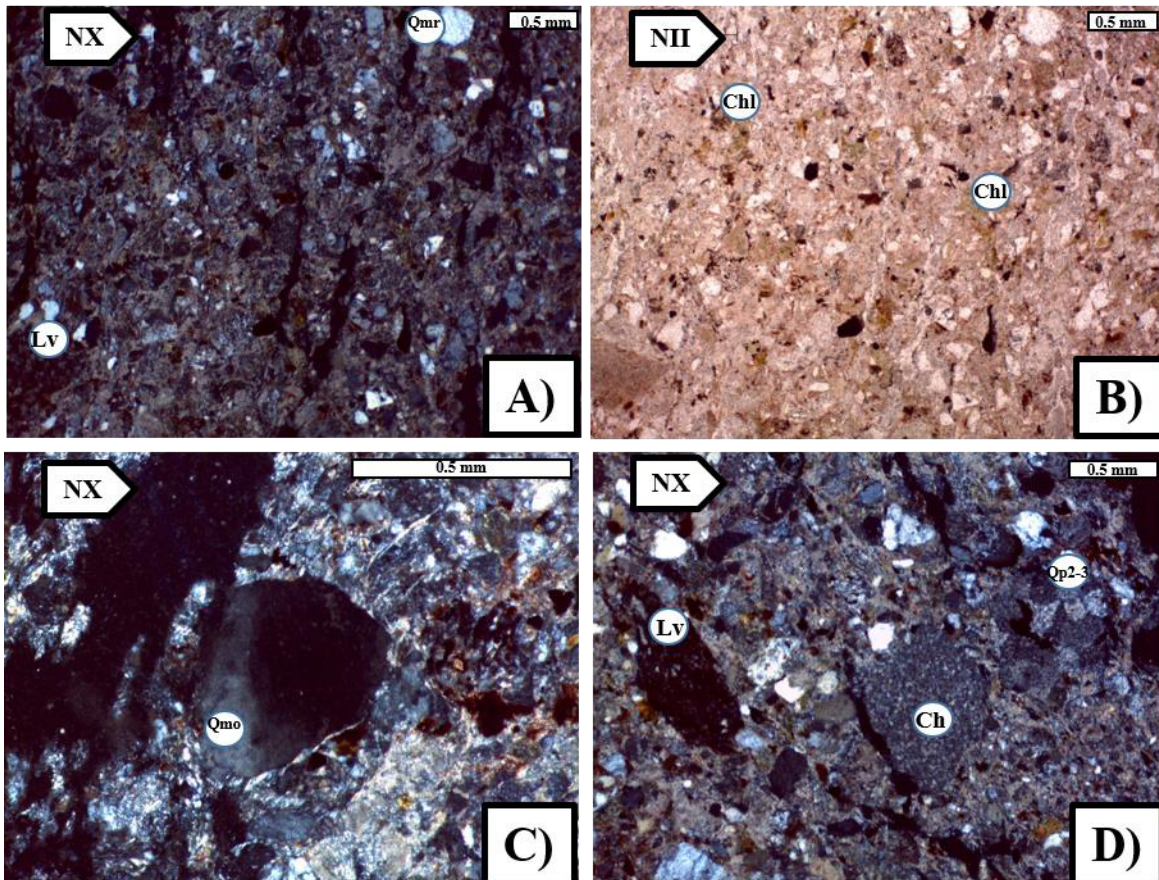
**Figura 4. 13:** Madurez textural pobremente clasificada, inmadura con granos subanguloso con poco contacto que consta en su mayoría de **A)** cuarzo (Qmo), Feldespatos (Plg, K), Circon (Zr) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. **B)** Lítico volcánico, Biotita, (Bt) y feldespatos (K), Líticos volcánicos, aumento 4x. **Abreviaciones Nx=** Nicles cruzados, **NII=** Nicles paralelos

**4.4.3.3 Muestra: OLVIDO – 04, Figura 4. 14****Clasificación de las rocas (Pettijohn *et al.* 1987): Litoarenita cuarzo – feldespática.**

**Figura 4. 14:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subanguloso y presentan fracturas en su interior y consta en su mayoría de **A – B** cuarzos (Qmr), Feldespatos (Plg, K), Líticos (Lv – Ls) en menor cantidad Biotitas (Bt) y Pedernal (Ch), embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe y cloritas (Chl), aumento 4x. **Abreviaciones Nx=** Nícoles cruzados, **NII=** Nícoles paralelos

## 4.4.3.4 Muestra: OLVIDO – 05, Figura 4. 15

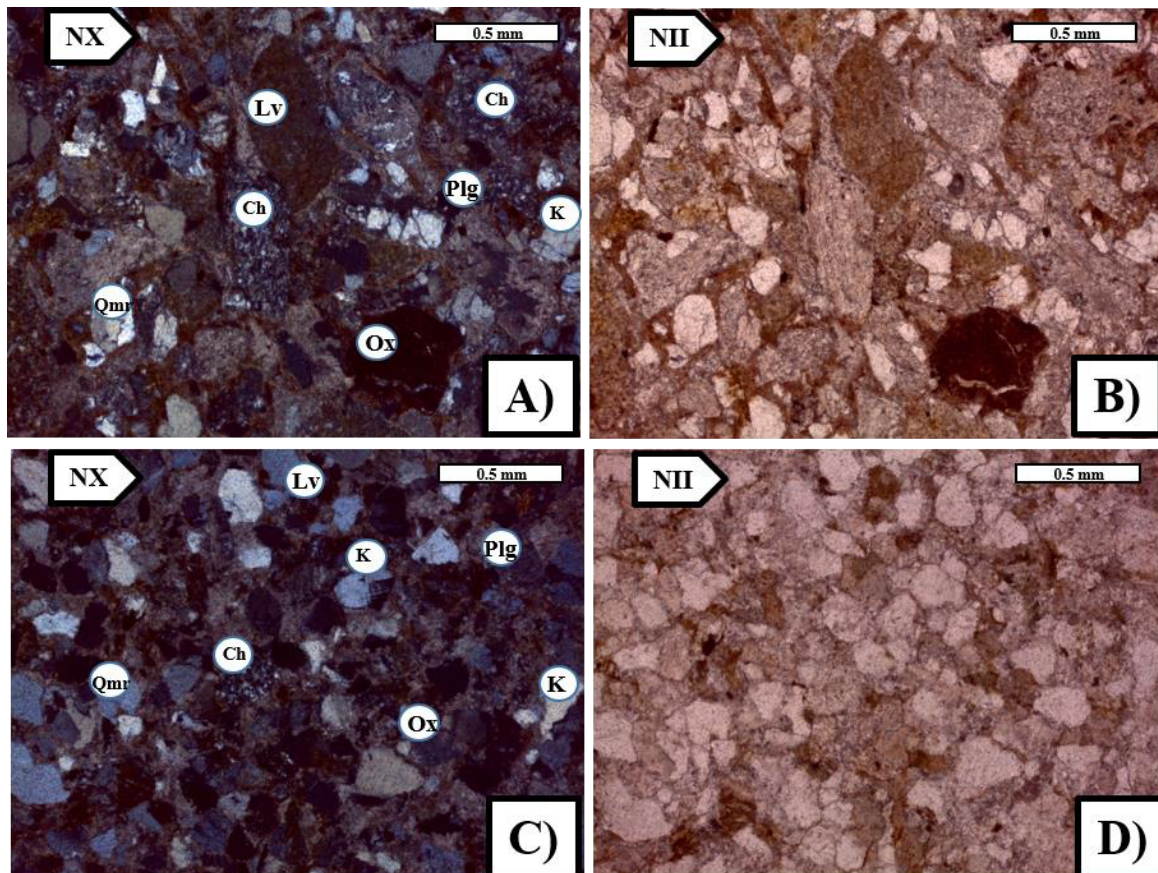
Clasificación de las rocas (Pettijohn *et al.* 1987): Litoarenita feldespática.



**Figura 4. 15:** Madurez textural pobre a moderada clasificación, con clastos sub – redondeados, constituidos por **A – B)** cuarzos (Qm, Qmo, Qp), feldespatos (K, P), en menor cantidad se encuentran presentes algunos muy poco contenido de Líticos (Lv y Ls) estos embebidos en cemento constituido por arcillas, cloritas y poco óxido de Fe. Aumento de 2.5x, **C)** Cuarzo (Qmo) en un aumento de 10x, **D)** Líticos volcánicos, pedernal (Ch) y Cuarzo policristalino (Qp 2-3) en un aumento de 4x. **Abreviaciones NX=** Nicoles cruzados y **NII=** Nicoles paralelos.

## 4.4.3.5 Muestra: OLVIDO – 06, Figura 4. 16

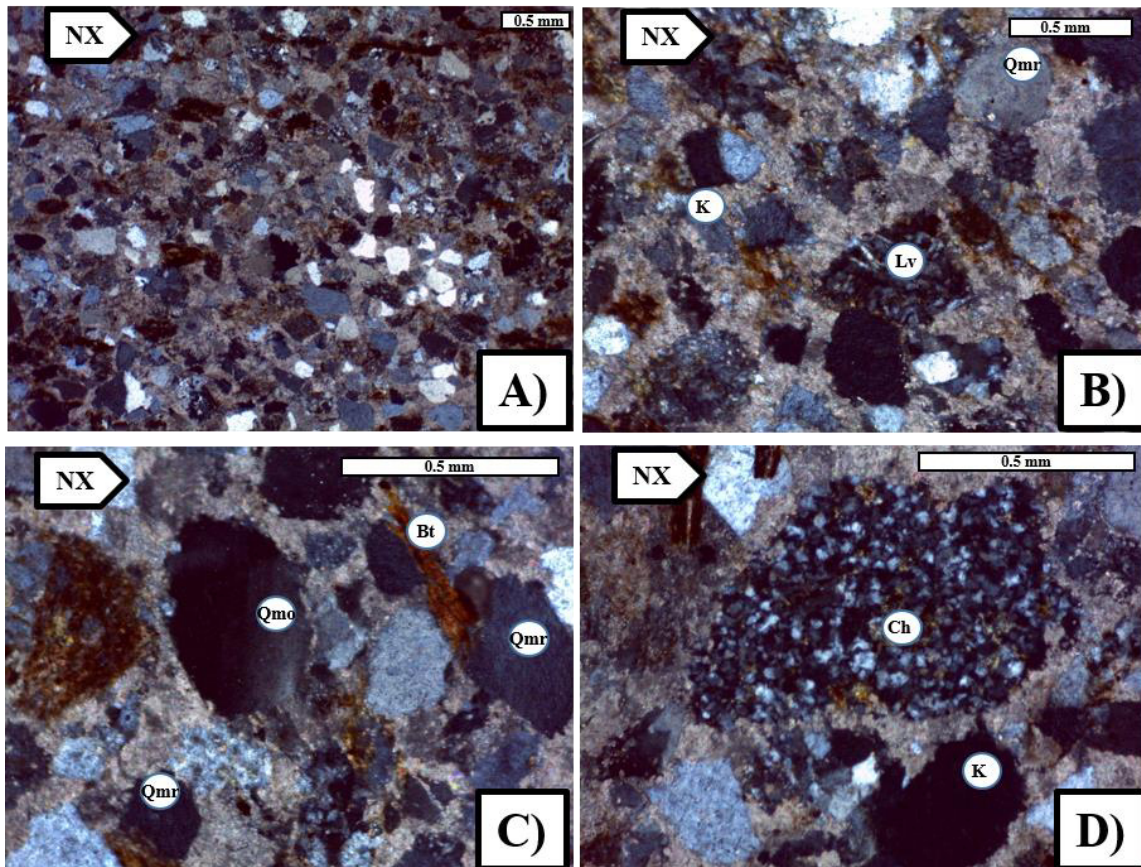
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Subarcosa cuarzo – feldespática.



**Figura 4. 16:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subredondeados y consta en su mayoría de **A – B)** cuarzo (Qm, Qp, Qp>3), Feldespatos (P, K), Líticos ( Lv) en menor proporción micas (Bt) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 4x. **C – D)** cuarzos (Qmr), feldespatos (K, Plg), pedernal (Ch) y óxidos de Fe, aumento 4x. **Abreviaciones Nx=** Nicoles cruzados, **NII=** Nicoles paralelos.

## 4.4.3.6 Muestra: OLVIDO – 07, Figura 4. 17

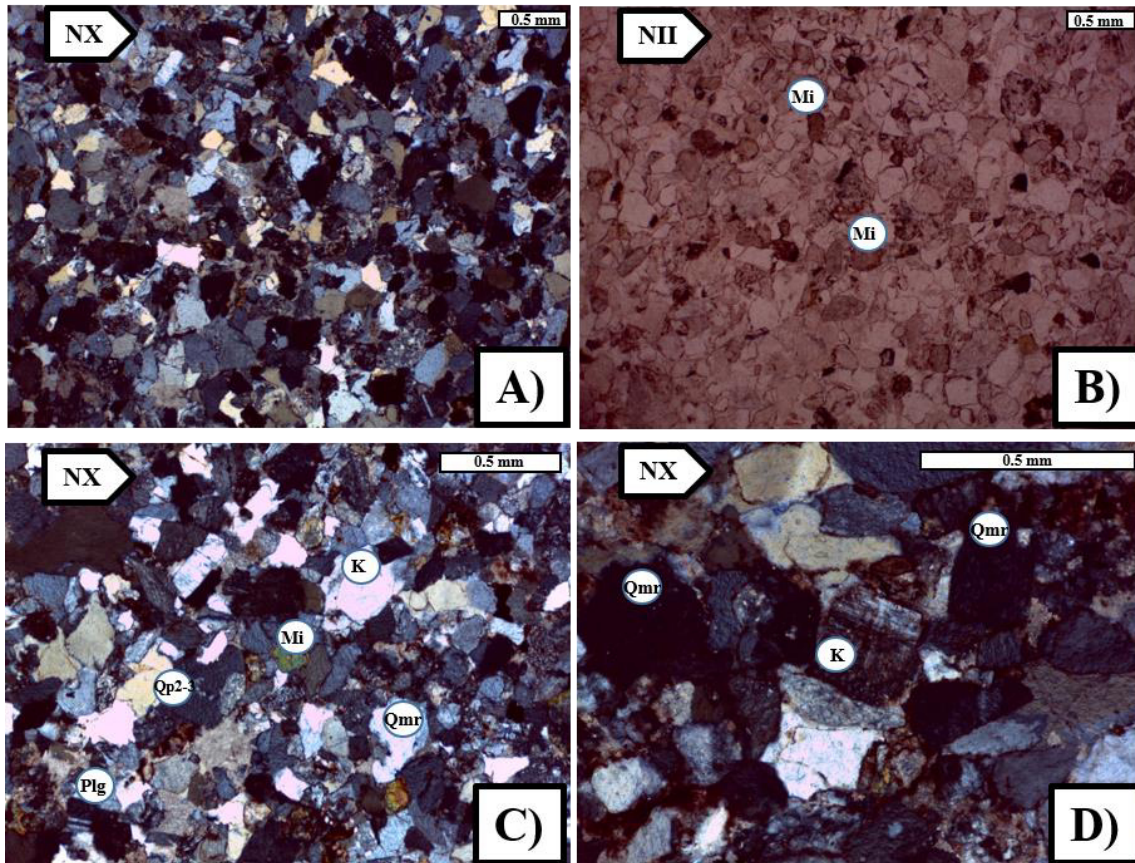
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Litoarenita cuarzo – feldespática



**Figura 4. 17:** Madurez textural moderadamente clasificada con granos subangulosos y consta en su mayoría de **A)** cuarzo (Qm, Qmo, Qp, Qp>3), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv, Ls) en menor proporción micas (Bt) embebidos por cemento arcilloso con óxidos de Fe, aumento 2.5 x. **B)** Cuarzos (Qmr), Lítico volcánico (Lv), Feldespato (K), aumento 4x. **C)** Cuarzos (Qmo, Qmr), Feldespatos (K) y micas (Bt), aumento 4x, **D)** Cuarzo policristalino (Qp>3), aumento 10x, **Abreviaciones Nx=** Nícoles cruzados, **NII=** Nícoles paralelos

## 4.4.3.7 Muestra: OLVIDO – 08, Figura 4. 18

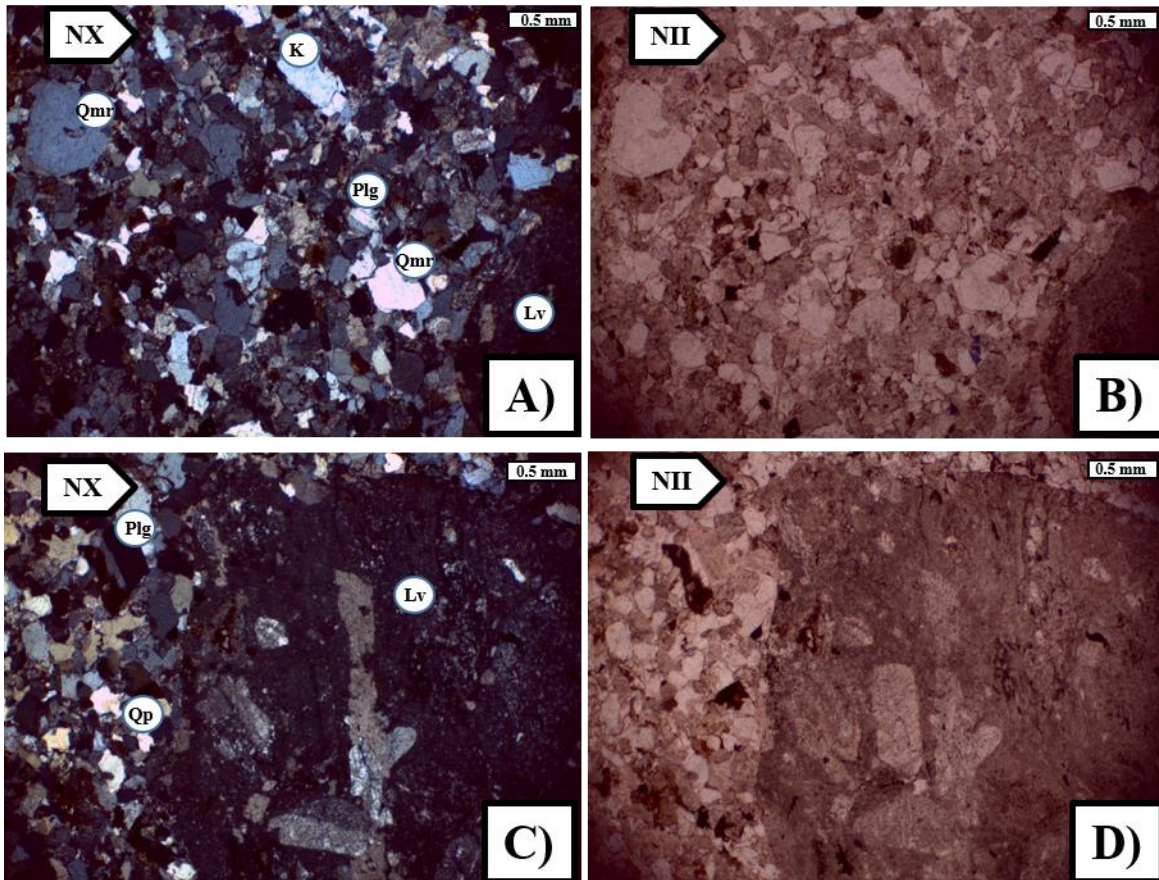
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Subarcosa cuarzo – feldespática



**Figura 4. 18:** Madurez textural moderado a buena clasificación con granos angulosos que se mantienen en contacto puntal y consta en su mayoría de **A – B)** cuarzo (Qm), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi), se tiene así mismo poco contenido de cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 2.5x. **C)** Micas glauconíticas, Plagioclasas con maclas polisintéticas, Feldespatos (K), Cuarzos (Qmr, Q2-3), aumento 4x. **D)** Microclina (K), Cuarzo (Qmr), saumento en 10x. **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, **NII**= Nicoles paralelos

## 4.4.3.8 Muestra: OLVIDO – 09, Figura 4. 19

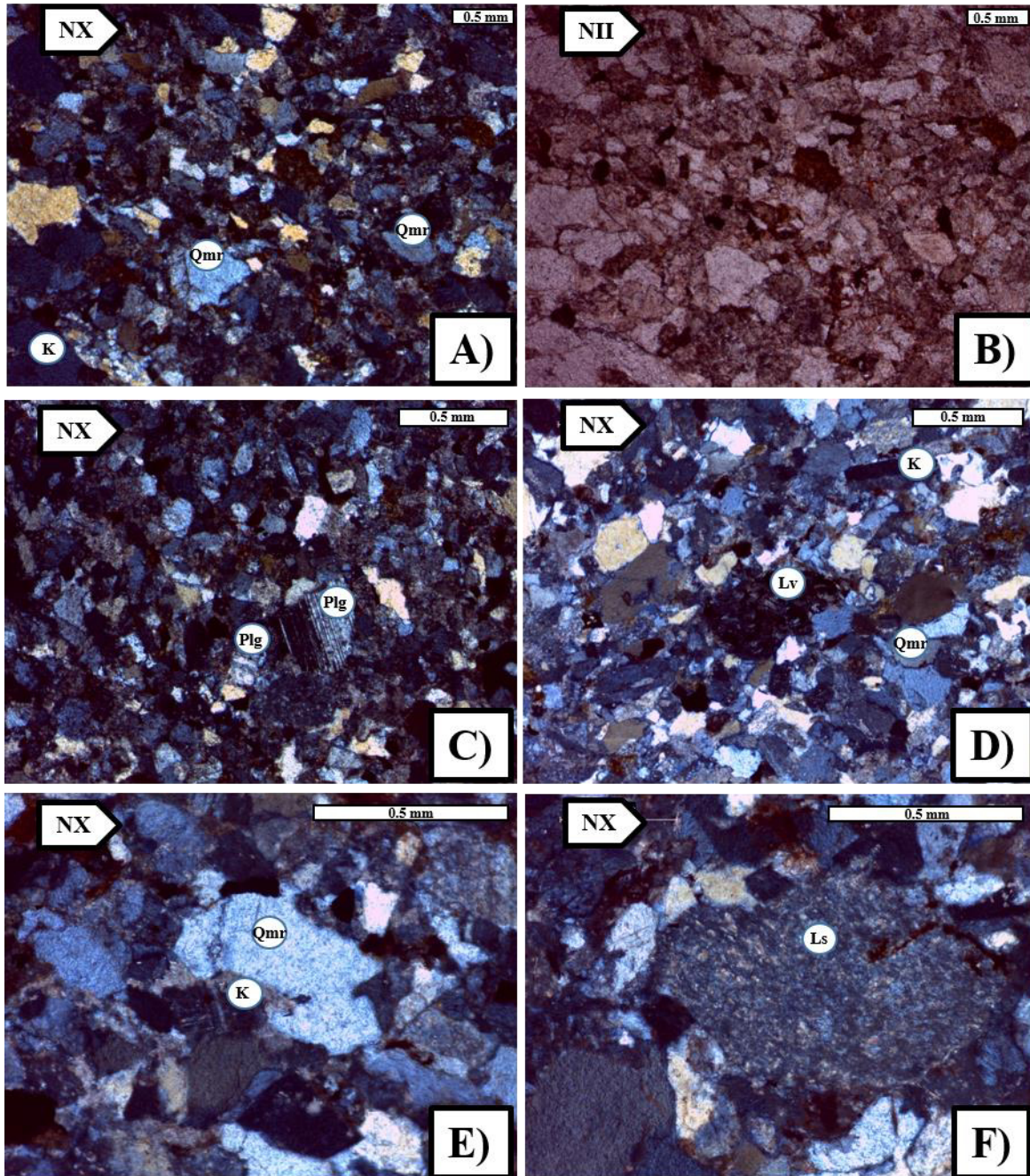
Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Subarcosa cuarzo – feldespática



**Figura 4. 19:** Madurez textural es de moderada a buena clasificación con granos muy angulosos que se mantienen en contacto puntal constituidos en su mayoría de A – B) cuarzos (Qmr), Feldespatos (Plg, K), en menor cantidad micas (Bi) y presencia de Líticos (Lv), se tiene como también, poco contenido de cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 2.5x, C – D) Litítico volcánico con feldespatos rodeado por el esqueleto que constituye la lámina, aumento 2.5x. **Abreviaciones Nx=** Nicoles cruzados, **NII=** Nicoles paralelos



## 4.4.3.9 Muestra: OLVIDO – 10, Figura 4. 20

Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987): Subarcosa cuarzo – feldespática

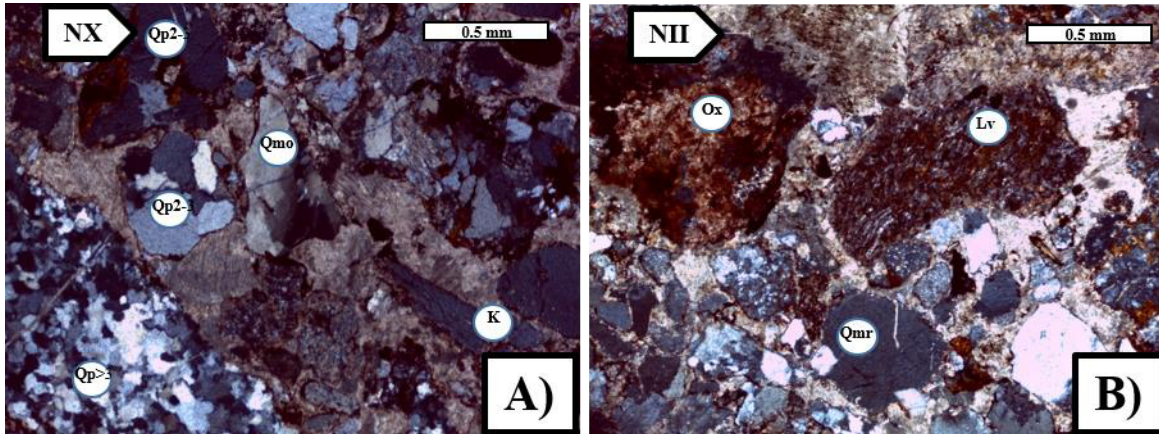
**Figura 4. 20:** Madurez textural es de moderada clasificación con granos angulosos que se mantienen en contacto puntal y consta en su mayoría de A – B) cuarzo (Qm, Qp), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi, Ms), además de minerales densos (HM) como circón, embebidos por cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 2.5x, C) Plagioclasa con macla polísintética, aumento 4x, D) Litítico volcánico, aumento 4x, E) cuarzo

monocristalino con un borde alterado por feldespato, aumento 10x, F) Litico sedimentario, aumento 10x.

**Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos

#### 4.4.3.10 Muestra: OLVIDO – 11, Figura 4. 21

**Clasificación de la roca (Pettijohn *et al.* 1987):** Subarcosa cuarzo – feldespática



**Figura 4. 21:** Madurez textural de moderada clasificación con granos sub – angulosos y consta en su mayoría de **A – B)** cuarzo (Qm, Qmo, Qp2-3 y Qp>3), Feldespatos (P, K), Líticos (Lv y Ls) en menor cantidad micas (Bi, Ms) embebidos por cemento arcilloso con muy poco óxido de Fe, aumento 4x. **Abreviaciones** Nx= Nicoles cruzados, NII= Nicoles paralelos

## 4.5 Parámetros contabilizados recalculados y procedencia

Con los criterios metodológicos para el análisis petrográfico ya mencionados y que se llevaron a cabo, se encontró una relación entre la composición de las muestras con valores recalculados al 100 % del total de la roca (Tabla 4. 2) y el ambiente tectónico al que se asocian las grandes cuencas sedimentarias donde se depositan (Tabla 4. 3; Tabla 4. 4)

**Tabla 4. 2:** Resultados de los parámetros contabilizados y recalculados. Todos los valores se encuentran en valores porcentuales. Las claves para las abreviaturas se encuentran en la tabla 4.1.

Formación y Muestra	Cuarzo					Feldespatos		Micas			Minerales pesados	Líticos		Matriz cementante	Óxidos de Fe
	Qmr	Qmo	Qp2-3	Qp>3	Ch	K	P	Ms	Bi	Chl	HM	Lv	Ls	Cm	Ox
<b>Fm. La Boca</b>															
BOCA-02	17.8	10.8	2.1	1.6	1.8	12.5	8.1	0.9	6.2	0.0	0.0	2.7	1.4	22.9	12
BOCA-03	15.4	7.8	0.4	2.6	2.1	16.2	5.2	0.5	5.5	1.6	1.4	2.8	1.5	32	5.3
BOCA-04	18.4	11.0	1.2	2.3	2.9	12	9.4	0.5	3	0.0	0.3	3.4	2.2	27.7	5.9
BOCA-05	14.4	13.4	2.9	1.4	1	13.4	12.5	0.5	1.7	0.0	0.2	2.5	1.6	29.7	4.3
BOCA-06	18.7	12.5	3.9	1.2	3	7.6	9.4	0.8	1.8	0.0	0.8	2.1	1.7	27.2	9.3
BOCA-07	18.1	8.4	2.7	4.5	2.9	12.7	8.3	0.0	2.5	0.0	0.4	2.9	2.5	23.9	10.9
<b>Fm. La Joya</b>															
JOYA-02	14	5.9	2.0	7	3.0	8.2	6.6	0.0	2.6	4.2	0.6	8.9	2.4	31.5	4.0
JOYA-03	14	4.0	1.3	2.9	1.5	13.1	9.2	0.4	1.3	3.2	1.5	7.8	4.4	32.9	2.1
JOYA-04	12.3	3.8	1.2	9.7	2.2	9.7	8.9	0.2	1.2	3.5	0.8	6.1	4.9	32.4	3.1
<b>Fm. Olvido</b>															
OLVIDO-01	29	2.5	2.3	1.4	0.5	16.5	8.4	0.3	6.6	3.7	1.4	1.9	1.2	17	6.8
OLVIDO-02	26	10.3	3.3	7.7	3.3	15.3	7.9	0.0	2.7	2.1	1.5	1.2	0.4	13.3	4.4
OLVIDO-03	28.7	8.3	3.8	6.3	2.8	14.4	7.1	0.0	5.0	2.2	0.2	0.4	0.6	15.4	4.5
OLVIDO-04	29	8.4	2.8	4.0	4.4	19.9	7.4	0.0	4.2	1.2	1	1.2	1.2	7.2	7.4
OLVIDO-05	20.4	9.6	1.7	0.2	1.9	12.5	8.7	0.4	3.6	0.0	1.2	0.4	2.1	15.4	5.2
OLVIDO-06	27.5	7.1	3.5	2.9	5.4	14.5	5.2	0.0	4.3	2.7	0.2	2.5	2.5	13.1	7.9
OLVIDO-07	24.1	11.2	5.2	4.9	2.6	13.1	7.5	0.0	3.2	0.6	0.9	2.6	1.2	14.1	4.7
OLVIDO-08	27.5	10.9	2.9	3.4	6.4	19.9	12	0.0	2.4	0.0	0.3	0.0	1.8	8.2	4.2
OLVIDO-09	32.1	8.8	2.4	4.5	6.2	15.5	10.4	0.0	2.8	2.6	0.5	0.0	0.6	8.1	6
OLVIDO-10	35	10.5	1.7	1.7	1.7	16.2	9.6	0.0	3.6	1.9	0.6	3.5	1.2	5.2	5.8
OLVIDO-11	33	3	2.8	1.7	0.6	19.9	10.2	0.0	5.8	3.8	0.8	2.4	0.4	7.2	4.4

**Tabla 4. 3:** Resultados de los parámetros contabilizados y recalculados para la utilización de diagramas triangulares. Todos los valores se encuentran en valores porcentuales. Las claves para las abreviaturas se encuentran en la tabla 4.1

Formación y Muestra	Q	F	L+ Ch	Qm	K	P	Q	F	L	Qm	F	Lt
	<b>Fm. La Boca</b>											
BOCA-02	53.4	36.6	10	56.2	26.6	17.2	55	37.6	7.4	50.2	39.1	10.7
BOCA-03	47.3	40.8	11.9	50.6	37.4	11.9	49.3	42.6	8.2	44.2	43.2	12.6
BOCA-04	49.2	37.7	13.1	53.3	26.2	20.5	51.8	39.7	8.5	45.9	40.2	14
BOCA-05	50	42.4	7.6	50.3	25.7	24	50.9	43.1	6	46.2	45.6	8.2
BOCA-06	57.3	31.5	11.	60.3	17.7	22	60.7	33.3	6	52.8	34.8	12.4
BOCA-07	51.8	34.9	13.3	53.2	28.2	18.5	54.4	36.7	8.9	45.2	39.7	15.1
<b>Fm. La Joya</b>												
JOYA-02	48.4	26.1	25.4	55.4	24.7	19.9	51.1	27.6	21.3	38.7	31.1	30.3
JOYA-03	36.5	39.2	24.3	42.6	33.7	23.8	37.5	40.3	22.2	31.4	42.3	26.3
JOYA-04	45.4	31.9	22.7	45.7	28.3	26	47.2	33.1	19.7	32.9	39.2	27.9
<b>Fm. Olvido</b>												
OLVIDO-01	56.2	42.3	1.5	54.2	30.4	15.4	56.6	42.6	0.8	53.3	45.1	1.6
OLVIDO-02	64.2	28.0	7.8	62.8	25.1	12.1	67.6	29.5	2.8	56.9	33.7	9.3
OLVIDO-03	58.9	34.3	6.9	57.1	27.8	15.2	61.9	36	2.1	52.6	39.5	7.9
OLVIDO-04	57.0	32.2	10.8	58.9	26	15	61.3	34.6	4.1	51.8	36.1	12.1
OLVIDO-05	44.4	48.5	7.1	46.1	21.2	32.7	45.8	50	4.2	42.7	50	7.3
OLVIDO-06	56.1	25.6	18.2	63.9	23.8	12.4	61.8	28.2	10	50.8	28.7	20.5
OLVIDO-07	62.1	28.3	9.6	63	23.5	13.4	64.3	29.3	6.3	56	32.8	11.2
OLVIDO-08	60.6	32.6	6.8	61.3	25.2	13.5	62.7	33.7	3.5	56.7	35.8	7.5
OLVIDO-09	62.9	36.0	1.1	59.1	27.7	13.2	62.9	36	1.1	58.4	40.3	1.3
OLVIDO-10	61.4	33.5	5.2	62.7	24.9	12.4	63	34.4	2.6	59.3	35.3	5.4
OLVIDO-11	56.4	42.1	1.5	54.4	30.1	15.5	56.8	42.4	0.8	53.5	44.9	1.6

Los tipos principales de procedencia, empleando el método de contaje G – D, distinguen cuatro tipos principales de procedencia y las denominan como: (a) cratones estables, (b) basamentos elevados, (c) arcos magmáticos y (d) orógenos reciclados, como se muestra en la Tabla 4. 4 se presenta de manera resumida las características principales de los depósitos arenosos generados, así como su ambiente tectónico discriminativo.

**Tabla 4. 4:** Tipos de procedencia, ambiente tectónico y características composicionales de las arenas asociadas. Según Dickinson, 1985

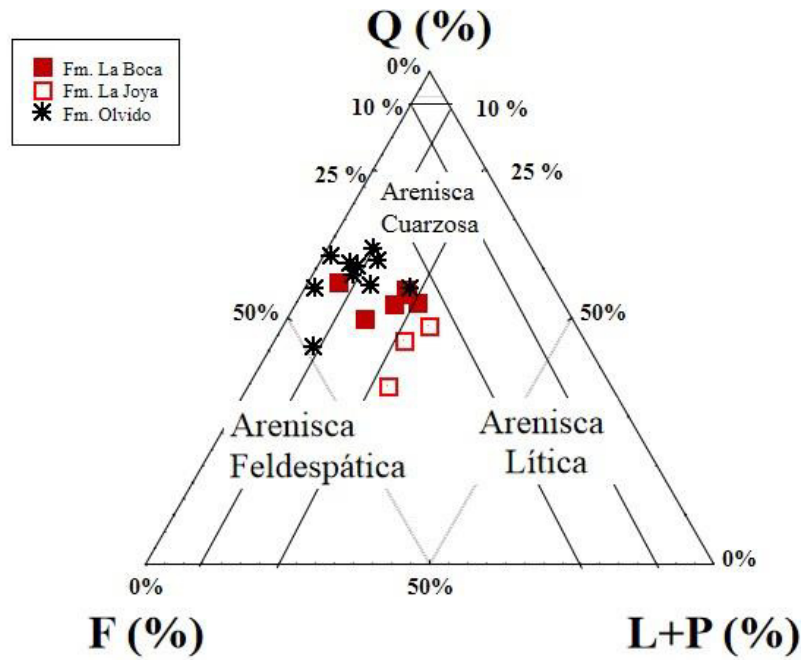
<i>Tipo de procedencia</i>	<i>Ambiente tectónico asociado</i>	<i>Composición de las arenas generadas</i>
<b>Cratones estables</b>	Interior continental o plataformas pasivas	Arenas cuarzosas (ricas en Qt) con altos valores de Qm/Qp y K/P
<b>Basamentos elevados</b>	Borde de <i>rift</i> o fallas transformantes	Arenas cuarzo – feldespáticas (Qm – F) con bajo contenido en Lt y relaciones Qm/F y K/P similares a la roca original
<b>Arcos magmáticos</b>	Arco de isla o arco continental	Arenas feldespáticas – líticas (F – L), volcanoclásticas con altos valores de P/K y Lv/Ls. Composiciones intermedias con arenas cuarzo – feldespáticas (Qm – F) procedentes de batolitos.
<b>Orógenos reciclados</b>	Complejo de subducción o cadena montañosa ( <i>fold and thrust belt</i> )	Arenas cuarzo – líticas (Qt – Lt), con bajo contenido en F y Lv y relaciones variables de Qm/Qp y Qp/Ls.

#### 4.5.1 Diagramas ternarios discriminantes para la clasificación

En general, la composición detrítica estudiadas es algo homogénea presentando en promedio, valores entre 60 – 40 % en cuarzo y 50 – 25% en feldespato y en menor cantidad (< 25%) fragmentos líticos.

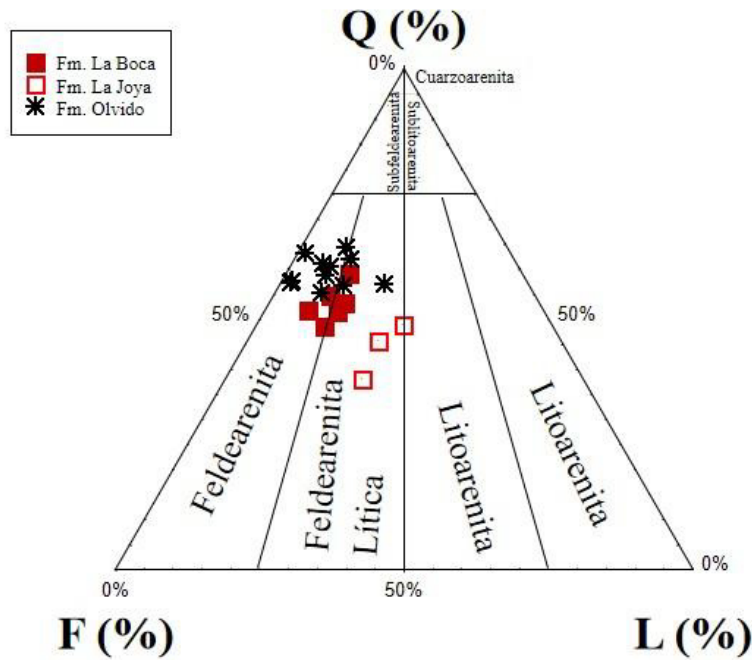
A partir de estos datos obtenidos de las modas detríticas de las areniscas se utilizó el diagrama triangular QFL + Ch de Füchtebauer (1988) modificado por Jenchen & Rosenfeld (2002). En este mismo diagrama (Figura 4. 22) no se toma en cuenta el contenido de matriz de la roca, pero en cambio se valora la composición de los clastos, a partir de esto las muestras exhiben una tendencia dentro de los campos de areniscas cuarzo – feldespática.

De manera general se logra ver un enriquecimiento en el contenido de cuarzo – feldespato y una disminución de los fragmentos líticos.



**Figura 4. 22:** Diagrama QFL + Ch el cual exhibe el tipo de rocas que representan las muestras analizadas para el área de estudio (según Füchtebauer, 1988; modificado por Jenchen & Rosenfeld, 2002)

En comparación con el diagrama QFL de Folk *et al.* (1974) la mayoría de las muestras de la Formación La Boca y Olvido, se distribuyen en el campo de Feldearenita a excepción de una muestra de la Formación Olvido que se ubica más hacia el campo de Feldearenita Lítica, mientras que para las muestras de la Formación La Joya caen en el campo de Feldearenita Lítica (Figura 4. 23)

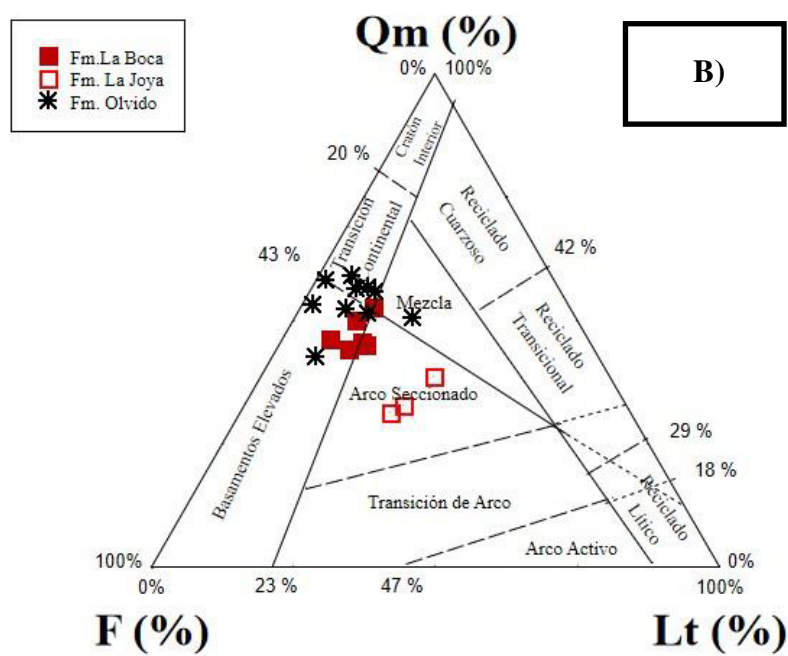
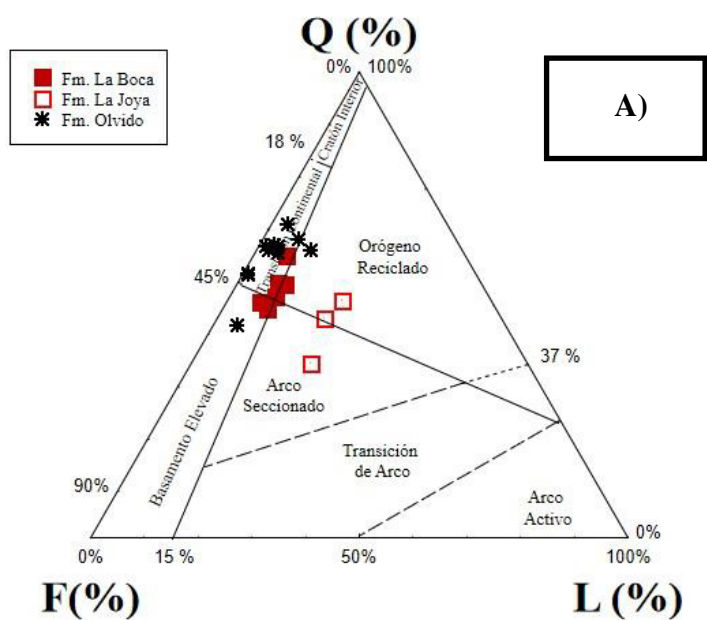


**Figura 4. 23:** Diagrama QFL el cual exhibe el tipo de rocas que representan las muestras analizadas para el área de estudio (según Folk *et al.*, 1974)

#### 4.5.2 Diagramas ternarios discriminantes para el área de aporte o procedencia de los sedimentos

Posterior a los datos ploteados en los diagramas QFL y QFL+Ch de Dickinson *et al.*, 1983 (Figura 4. 24), se pudo observar como las muestras en su mayoría forman parte del campo de Transición Continental y Basamento Elevado a excepción de las muestras de la Formación La Joya que en menor medida forma parte del campo de arco seccionado y orógeno reciclado. Las muestras están caracterizadas por contenidos inferiores al 50% de cuarzo total y proporciones variables de feldespato y en menor medida fragmentos líticos siendo en mayoría de origen volcánico y en menor medida sedimentario.

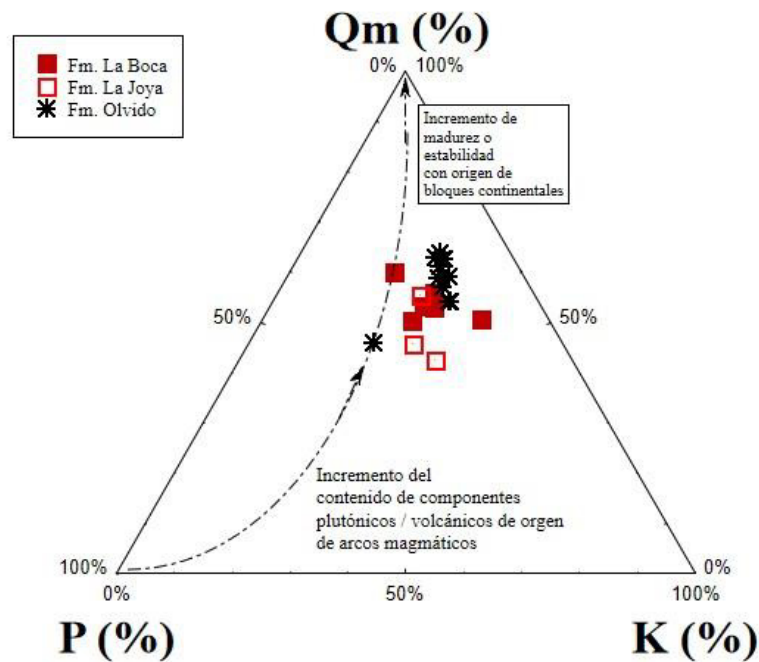
La Formación La Joya se distribuye en los campos de arco seccionado y orógeno reciclado como ya se mencionó y esto pudiera ser característico, por contener valores más elevados de cuarzo total – líticos tanto volcánicos como sedimentarios y en menor medida en feldespatos.



**Figura 4. 24:** Diagramas de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte al que representan las formaciones analizadas para el área de estudio **A)** Diagrama QFL, **B)** Diagrama QFLt. (Dickinson *et al.*, 1983).



En cuanto a la distribución de las muestras en el diagrama QmPK (Figura 4. 25) propuesto por Dickinson & Suczek (1979), las muestras denotan la tendencia agruparse hacia el margen derecho del triángulo, producto del alto contenido de cuarzo monocristalino y feldespato potásico respecto a las plagioclasas, lo que pudiera indicar que provienen de una fuente de composición magmática.



**Figura 4. 25:** Diagrama triangular QmPK para la procedencia de sedimentos, las flechas discontinuas indican el incremento de la madurez (Dickinson & Suczek, 1979)

## 5 REVISIÓN MICROFACIAL

### 5.1 Introducción

Se hizo la revisión microfacial para los carbonatos que se tiene en el área, siendo las Formaciones Novillo y Zuloaga (Jurásico Medio - Superior), mientras que la Formación La Casita como ya se ha señalado con anterioridad, no se pudo analizar debido a que presenta un alto grado de alteración. Por tanto, la parte antigua o basal en los carbonatos se encuentra representando por la Formación Novillo que cuenta con paquetes de calizas de color gris con horizontes calcoareníticos – lutíticos en contacto transicional con las intercalaciones de areniscas – calizas de las Formacion Olvido. Mientras que la parte joven o techo pertenece a los carbonatos de la Formación Zuloaga.

#### 5.1.1 Rocas Carbonatadas

Una roca carbonatada es aquella que está formada por más del 45 % de minerales carbonatados (aragonita, calcita, dolomita, entre otros). Si su origen es carbonatado – detrítico, entonces está roca está formada por fragmentos procedentes de la erosión de terrígenos (siliciclásticos), en cambio si los granos son de naturaleza carbonatada o de origen autóctona, están constituidas por componentes carbonáticos originados, primeramente, por procesos químicos o bioquímico, en un determinado ambiente de sedimentación (continental o marino). Estas constituyen la mayor parte de las rocas carbonatadas dentro del registro estratigráfico.

Las rocas carbonatadas se encuentra constituida por **aloquímicos** o granos carbonatados (bioclastos, intraclastos, granos agregados, ooides, peloides, partículas terrígenas, etc.) que son aquellos de origen bioquímico o químico con cierto grado de transporte y por **ortoquímicos** que es el material inter – granular (matriz o cementante), y este puede ser *micrita*, que es el barro carbonatado o matriz fina menores a 4 micras y que bajo al microscopio se observa una masa homogénea criptocristalina y oscura, se forma en ambientes protegidos, de baja energía (laguna continental, plataforma profunda, fondos abisales); o *esparita*, para hacer referencia al cemento carbonatada mayor a 4 micras que se precipita en los espacios de los granos de un sedimento carbonatado, o en los espacios internos de las partículas.

### 5.1.2 Concepto de facies, microfacies y ambiente de depósito

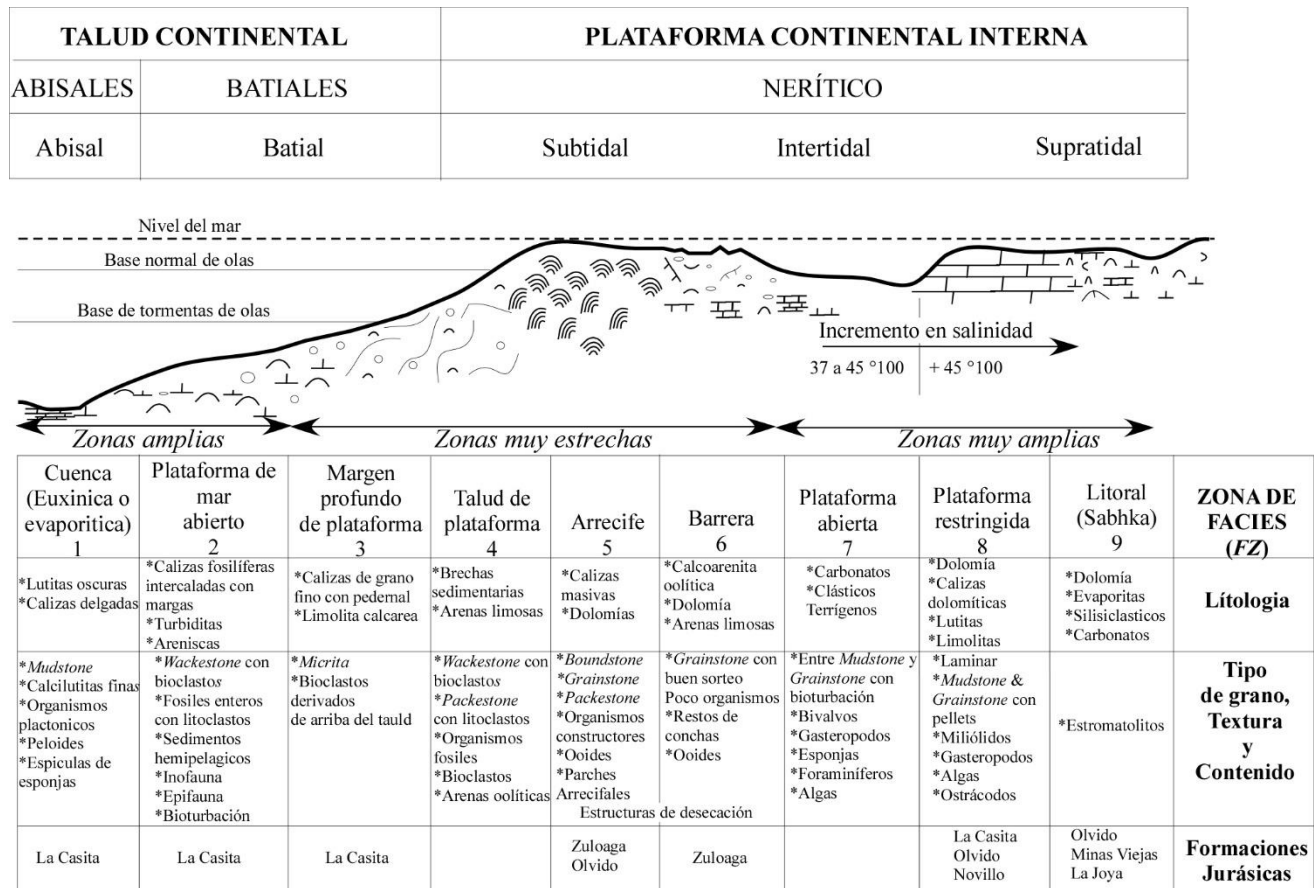
Las facies sedimentarias pueden definirse como la suma de todos los rasgos primarios (litológicos y biológicos) de una sección estratigráfica local, cuya formación es el resultado de los fenómenos de depositación propios de un ambiente y de los diversos procesos que los caracterizan (Spalletti, 1979). Por lo tanto, se deduce que una facies sedimentaria está constituida por uno o varios tipos de cuerpos de rocas sedimentarias que se relacionan tanto en sentido lateral como vertical de una manera ordenada, en respuesta a variaciones.

El término Microfacies se define como: la mayor información sedimentológica y paleontológica que se pueda adquirir a partir de una sección delgada, para su descripción y clasificación bajo el microscopio (Flügel, 2004).

El análisis de Microfacies o evaluación microscópica de los componentes paleontológicos y sedimentológicos, representan una de las herramientas más útiles para la interpretación y reconstrucción de los ambientes sedimentarios que prevalecieron en el pasado geológico. De esta forma, el estudio de las rocas carbonatadas bajo el microscópico petrográfico, produce las bases para una interpretación paleontológica que sirven para determinar el tipo de ambiente de depósito y el deducir el tipo de cuenca sedimentaria. Estas interpretaciones se basan en el modelo de facies de Wilson (1975).

El modelo de facies estándar (ZF) es entonces el resultado de una combinación del efecto que tiene la pendiente, edad, energía del agua y clima, en donde las características del depósito también son afectadas por el aporte de material clástico. Este modelo define 9 facies en un perfil de plataforma con un margen y una pendiente ligera. En dicho modelo, ciertas condiciones pueden variar y un solo ejemplo difícilmente incluiría el total de las nueve facies antes mencionadas, en la Figura 5. 1 se muestra el modelo propuesto por Wilson (1975), con características litológicas, componentes y algunas formaciones para el Jurásicos basados en antecedentes.

Las facies de Wilson no ha sido el único modelo reconocido. Anderson & Silver (1974) y Ahr (1998) han presentado un modelo que describe una rampa carbonatada en la cual existe una zona de energía más alta a lo largo de la costa y gradúa a través de la plataforma a lodo carbonatado depositado en condiciones marinas abiertas.



**Figura 5. 1:** Ubicación del ambiente de depósito (modelo de Wilson, 1975) con algunas características para las formaciones del Jurásico, basados en antecedentes

### 5.1.3 Clasificación de rocas carbonatadas por medio de Microfacies

En la petrología sedimentaria moderna, la clasificación de rocas carbonatadas se hace en función de los elementos texturales que la componen y de la fábrica de estos. Las dos clasificaciones más usadas son las de Folk (1962), Dunham (1962) y Embry & Klovan (1971). Dichas clasificaciones tienen relaciones genéticas.

La clasificación de Folk (1962; Figura 5. 2) utiliza el criterio de las abundancias o proporciones relativas de los componentes autóctonos de la roca carbonatada (alquímicos, matriz, cemento), además el uso de ciertas jerarquías en la descripción textural (Intra -Bio-, etc.).




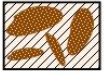
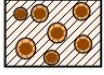

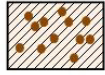
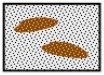
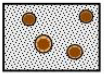
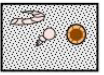
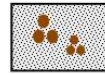




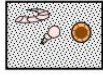
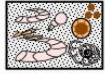
Rocas aloquímicas		Rocas ortoquímicas (ausencia de aloquímicos)		Roca autóctona de arrecife
Cemento esparítico 		Lodo, Matriz micrítica	Matriz Dismicrítica 	Biolitita 
Tipo aloquímicas	<b>Intraclastos</b>  Intraesparíta	<b>Ooides</b>  Oosparíta	<b>Fosiles</b>  Biosparíta	<b>Pellets</b>  Pelsparíta
	 Intramicríta	 Oomicríta	 Biomicríta	 Pelmicríta
Matriz lodosa > 2/3 (Con porcentaje alquímico) -Semejante Terrígeno-	 (Pobremente sorteada) Biosparíta mal clasificada -Arenisca sub-madura-		 (Buen sorteo) Biosparíta clasificada -Arenisca madura-	
	Esparita y lodo		 Biosparíta impura -Arenisca arcillosa o inmadura-	
	 (0 - 1%) (1-10%) Micríta y Dismicrítica -Roca arcillosa-		 (10 - 50%) Biomicríta escaza -Roca arcillosa-	
				 (>50%) Biomicríta saturada -Arenisca arcillosa o inmadura-

Figura 5. 2: Clasificación para Microfacies de rocas carbonatadas, y a que roca terrígena se puede relacionar, (según Folk, 1962)

La clasificación de Dunham (1962) y Embry & Klovan (1971; Figura 5. 3) se basa en los porcentajes relativos de granos y de barro (presencia o no de micrita) y su disposición (fábrica), así como también en el soporte de los granos entre sí. Esta clasificación no hace referencia al tamaño de los granos ni al tipo de estos y se suele hacer, Ej. *Grainstone* con ooides.

Textura deposicional reconocible						
Componentes originales no ligados a la depositación					Componentes originales ligados a la depositación	
Contiene matriz			No contiene matriz			
<10% en granos	<50% en granos	>50% en granos		>10% en granos gruesos (Rudita)	Organismos cruzan el sedimento	
Soportado por la matriz		Soportado por los granos		Soportado por matriz	Soportado por los granos	Organismos en el sedimento
<i>Mudstone</i>		<i>Wackestone</i>		<i>Packstone</i>		<i>Bafflestone</i>
						<i>Bindstone</i>
		<i>Grainstone</i>		<i>Floatstone</i>		<i>Framestone</i>
				<i>Rudstone</i>		

Figura 5. 3: Clasificación para Microfacies de rocas carbonatadas, según Dunham (1962), Embry & Klovan (1972).

Esta clasificación presenta como ventaja su fácil utilización en terreno. Debido a que los nombres son colocados dependiendo de la textura deposicional de la roca, tienen relaciones en cuanto a indicación de energía en el medio sedimentario (*Grainstone*; sedimentos muy trabajados, *Mudstone*; sedimentos propios de aguas tranquilas).

## 5.2 Metodología para la Revisión Microfacial

El Análisis Microfacial en rocas carbonatadas se hace en función de los elementos texturales que componen y de la fábrica de estos.

El método se realizó en base a las facies, la litología y características sedimentarias, estratificación presente en el afloramiento, así como también, la observación bajo el microscopio para dar una descripción y clasificación en base a la clasificación de Dunham (1962) con la finalidad de conocer las condiciones de acumulación de los sedimentos, para poder darle una interpretación paleoambiental general de las muestras en base a la a integración y comparación de la información disponible, empleando el esquema propuestos por Wilson (1975).

### **5.3 Resultados generales de los componentes Microfaciales**

Se analizaron un total de 12 muestras de carbonatos en dos perfiles correspondientes a cada formación, para el área de estudio (ver Perfil C-C' y D-D' asignados para cada formación, Anexo II), en el cual se le asignó su textura y clasificación facial (ZF) y Microfacies estándar (SMF) propuestas para el presente estudio.

Las muestras de la Formación Novillo se componen en su mayoría de matriz micrítica fina, a excepción de la muestra NOVILLO – 03 que presenta cemento esparítico. No se tiene orientación preferencial de las partículas, los componentes principales son foraminíferos miliólidos, granos indeterminados, así como de posible bioturbación.

Las muestras analizadas de la Formación Zuloaga arrojan en su mayoría matriz micrítica, a excepción de la muestra ZULOAGA-04 y ZULOAGA-06 que contiene cemento esparítico, se tiene, asimismo, gasterópodos, organismos indeterminados, ooides y pequeños cristales de dolomía, lo cual aparecen únicamente en lámina delgada ya que en afloramiento se presenta muy masivo esta formación.

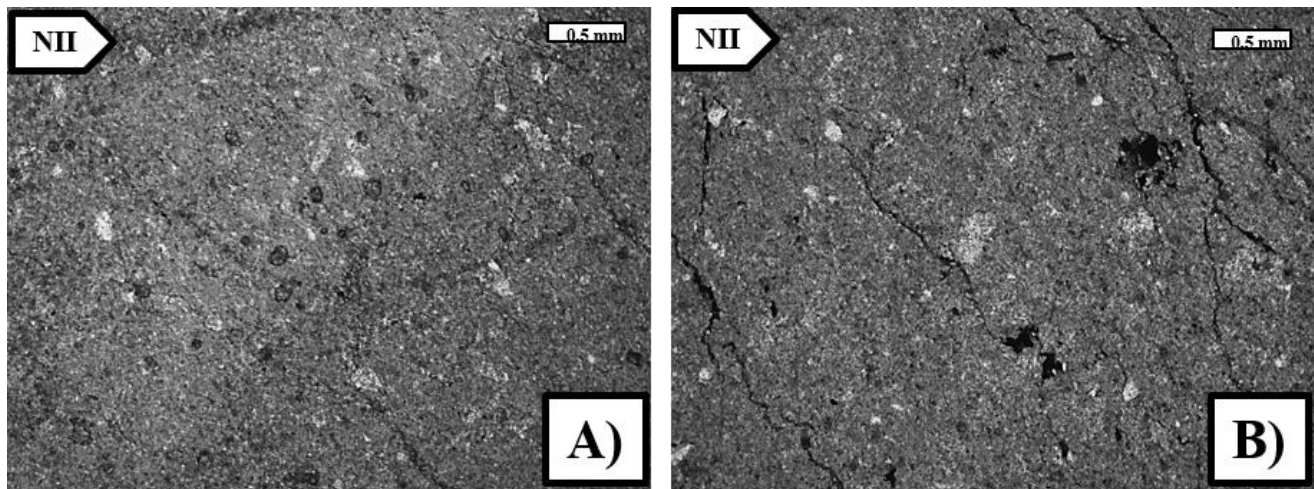
5.3.1 Formación Novillo

5.3.1.1 Muestras: NOVILLO – 01, Figura 5. 4(A)

NOVILLO – 02, Figura 5. 4(B)

**Tabla 5.1:**  
Muestra en afloramiento ,Figura 3.10

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris claro con escasas estilolitas con alternancias de horizontes calcoareníticos - lutíticos
Estratificación	Capas delgadas (~ 20-30cm)
Textura Depositional	Lodo y localmente <i>Mudstone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con organismos indeterminados y algunos granos posiblemente de calcita (CaCO <sub>3</sub> ).
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 7. Plataforma abierta, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	9
Interpretación	El ambiente deposicional característico se localiza básicamente en una zona supratidal – intertidal, en un ambiente de baja energía por lo que se tiene micrita.



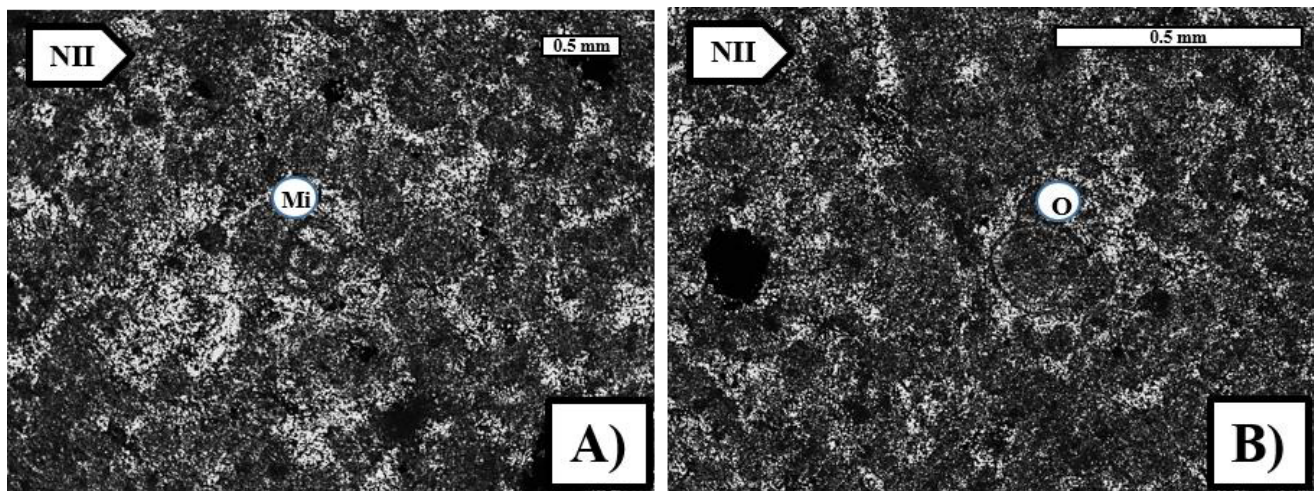
**Figura 5. 4:** A) NOVILLO-01, *Mudstone* con pequeños bioclastos indeterminados, en un aumento de 2.5x, B) NOVILLO-02, *Mudstone* con restos de organismos pobremente indentificable, en un aumento de 2.5x. **Abreviaciones,** NII= Nícoles paralelos



5.3.1.2 Muestra: NOVILLO – 03, Figura 5. 5.

**Tabla 5.2:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.10**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris masiva
Estratificación	Varia de base a techo con capas delgadas (~ 60 cm)
Textura Depositional	Lodo y localmente <i>Grainstone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico</u> : Cemento esparítico con foraminíferos miliólidos, ooides y organismos indeterminados.
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 8. Plataforma restringida, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	16
Interpretación	El ambiente deposicional característico se localiza básicamente en una zona intertidal en ambientes tropicales cálidos. Muchas veces con aguas marinas salinas o sub – salinas por el contenido de foraminíferos y ooides lo cual pudieron haberse formando en una zona con un ambiente de regular de energía (por la presencia de esparíta) o lo contrario (micrita).



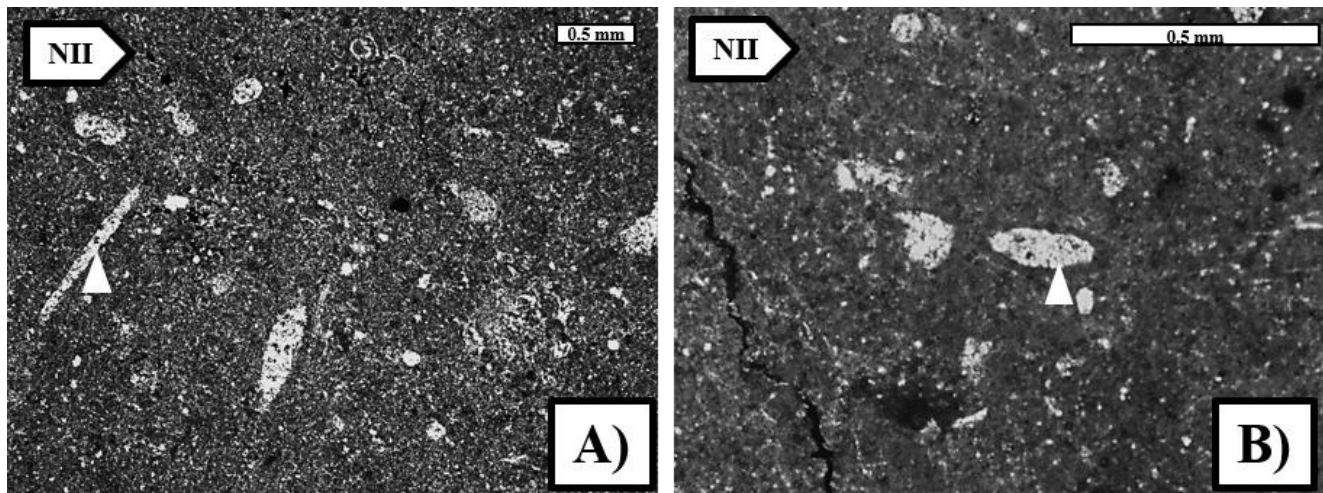
**Figura 5. 5:** A – B) NOVILLO-03, *Grainstone* con miliólidos y ooides, en un aumento de 2.5x y 10x respectivamente.

Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos

5.3.1.3 Muestras: NOVILLO – 04, Figura 5. 6.

**Tabla 5.3:**  
**Muestra en afloramiento, Figura 3.11**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza calcoarenítica color gris – café
Estratificación	Varia de base a techo con capas delgadas (~ 100cm) a
Textura Depositional	Lodo y localmente <i>Wackestone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con bioclóstos indeterminados
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 7 Plataforma abierta, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	9 - 10
Interpretación	Aguas someras o circulación justo bajo de la base de olas o las partículas dominantes proviene de ambientes con alta energía de barras y se transportaron y depositadas hacia aguas someras tranquilas.

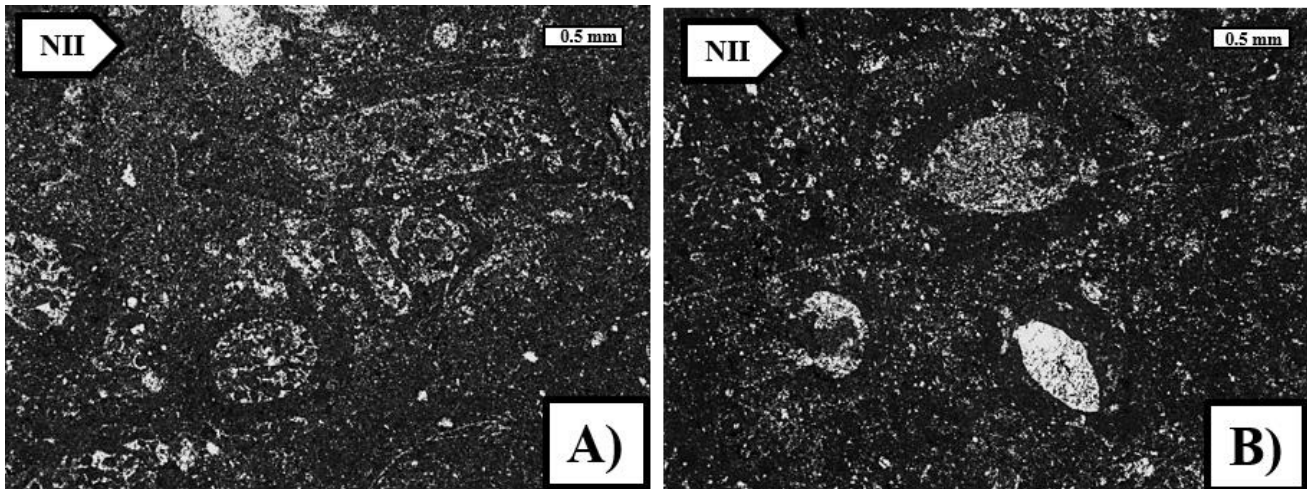


**Figura 5. 6: A – B) NOVILLO-04, *Wackestone* con bioclóstos recristalizados indeterminados, en un aumento de 2.5x y 10x respectivamente, en un aumento de 2.5x. Abreviaciones, NII= Nícoles paralelos**

## 5.3.1.4 Muestras: NOVILLO – 05, Figura 5. 7

**Tabla 5.4:**  
**Muestra en afloramiento, Figura 3.11**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza masiva de color gris claro.
Estratificación	Varía de base a techo con capas a gruesas de (1 m).
Textura Depositional	Lodo y localmente <i>Wackestone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con posible bioturbación y bioclastos indeterminados revestidos.
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 7. Plataforma abierta, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	9
Interpretación	Fragmentos de diversos organismos, los cuales están homogenizados por bioturbación y bioclastos micritizados, se da en un ambiente de aguas someras tranquilas con circulación abierta y justo por debajo de límite de olas.



**Figura 5. 7:** A – B) NOVILLO-05, *Wackestone* con posible bioturbación y bioclastos, en un aumento de 2.5x

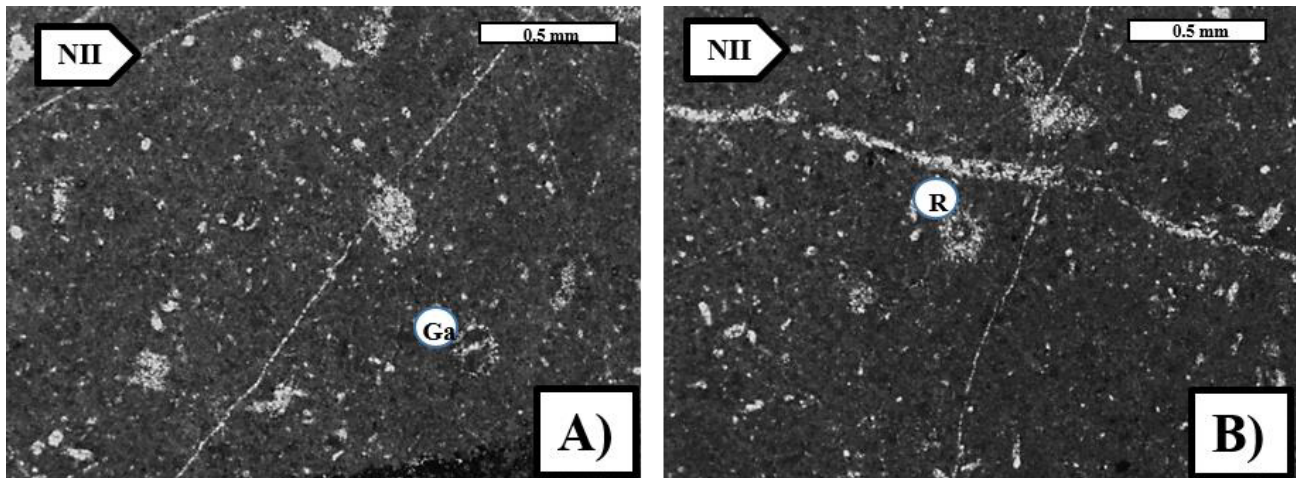
5.3.2 Formación Zuloaga

5.3.2.1 Muestras: ZULOAGA – 01, Figura 5. 8(A).

ZULOAGA – 02, Figura 5. 8(B).

**Tabla 5.7:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.19**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza, calizas dolomíticas de color gris claro.
Estratificación	Muy masivas sin una dirección de estratificación preferencial
Textura Depositional	Lodo localmente <i>Wackestone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con, ooides y organismos indeterminados.
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 7 Plataforma abierta somera
Tipo de Microfacies (SMF)	9
Interpretación	Muchas veces se encuentran asociaciones de peletoides, foraminíferos esporádicos, gasterópodos, se ubica en el ambiente de bahías restringidas o lagos.

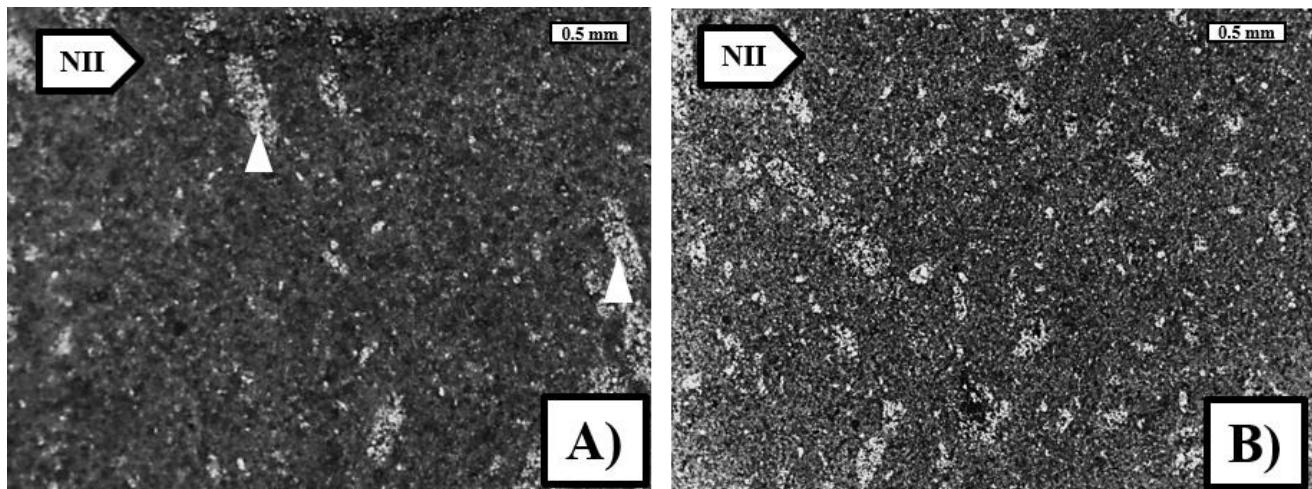


**Figura 5. 8: A – B) ZULOAGA-02, Wackestone con bioclastos, gasterópodos, en un aumento de 4x. Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos**

5.3.2.2 Muestras: ZULOAGA – 03, Figura 5. 9.

**Tabla 5.8:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.19**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris claro
Estratificación	Muy masivas sin una dirección de estratificación preferencial
Textura Depositional	Lodo localmente <i>Wackestone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con organismos indeterminados.
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 7. Plataforma abierta, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	9
Interpretación	El ambiente deposicional característico se localiza básicamente en una zona lagos salinos o en ambientes tropicales cálidos, en un ambiente regular de energía (por la presencia de esparíta) o lo contrario (micrita).

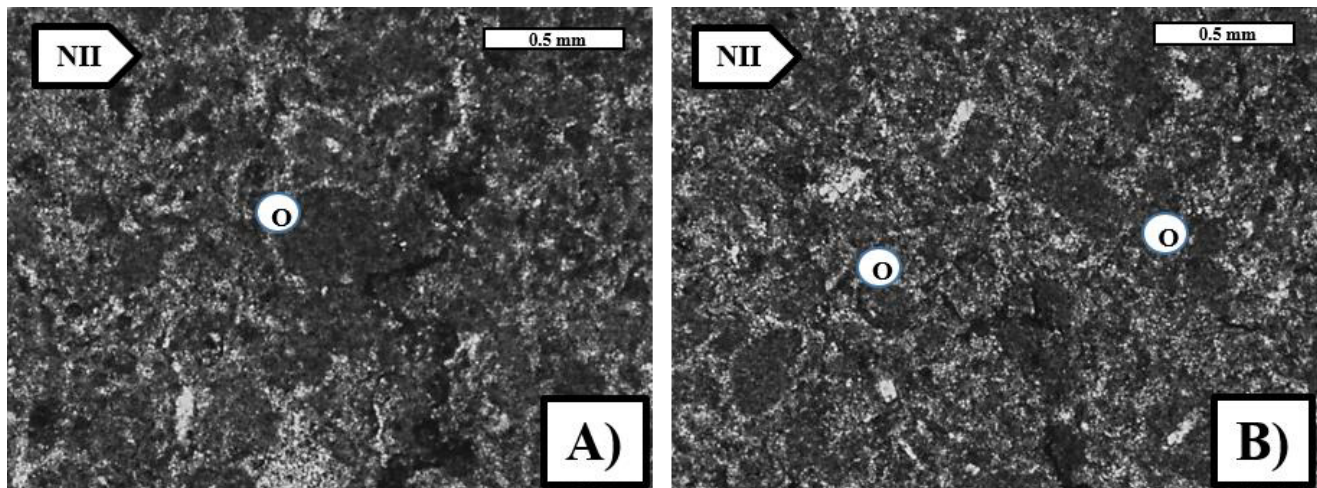


**Figura 5. 9:** A – B) ZULOAGA-03, *Wackestone* con pequeños bioclastos indeterminados y cristales de subanguloso, en un aumento de 2.5x. **Abreviaciones, NII= Nicles paralelos**

5.3.2.3 Muestras: ZULOAGA – 04, Figura 5. 10.

**Tabla 5.9:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.19**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris claro
Estratificación	Muy masivas sin una dirección de estratificación preferencial
Textura Depositional	Lodo localmente <i>Grainstone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico</u> : Cemento esparítico con ooides
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 8. Plataforma restringida, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	16
Interpretación	Condiciones estables con precipitación inorgánica o microbial y se forman en ambientes lacustres marinos atrás de la barrera

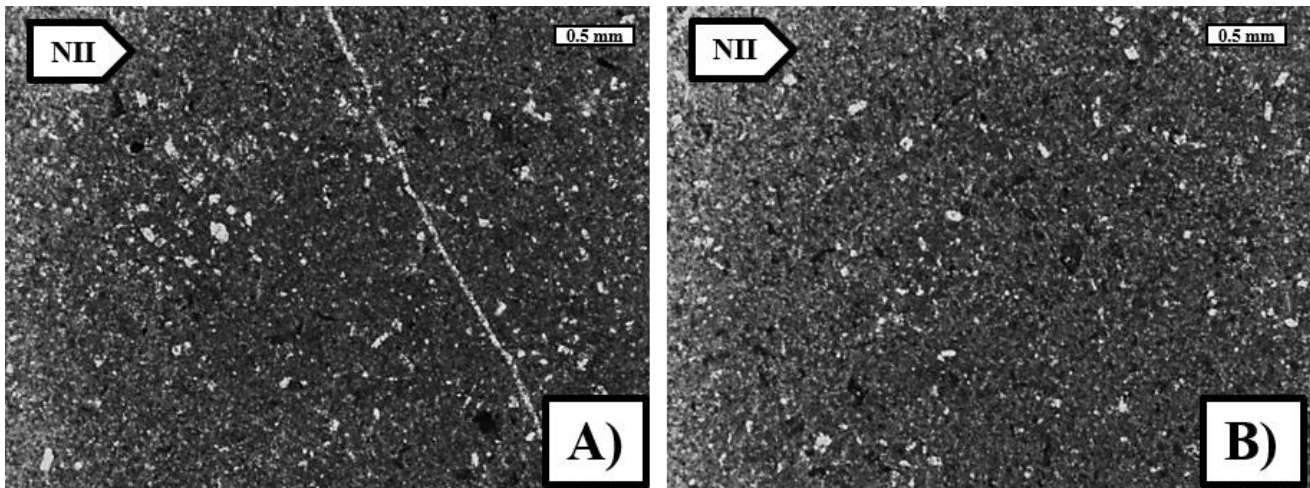


**Figura 5. 10:** A – B) ZULOAGA-04, *Grainstone* con ooides, en un aumento de 4x. Abreviaciones, NII= Nicoles paralelos

5.3.2.4 Muestras: ZULOAGA – 05, Figura 5. 11.

**Tabla 5.5:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.17 A**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris claro con estilolitas y presencia de huellas de karstificación.
Estratificación	Masiva no se puede reconocer direcciones de la estratificación preferencial
Textura Depositional	Lodo localmente <i>Wackestone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con organismos indeterminados, peloides e intraclastos.
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 7. Plataforma abierta, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	9
Interpretación	Fragmentos de diversos organismos, cuales están muy homogenizados, agua con circulación tranquila, justo debajo de la base del oleaje.

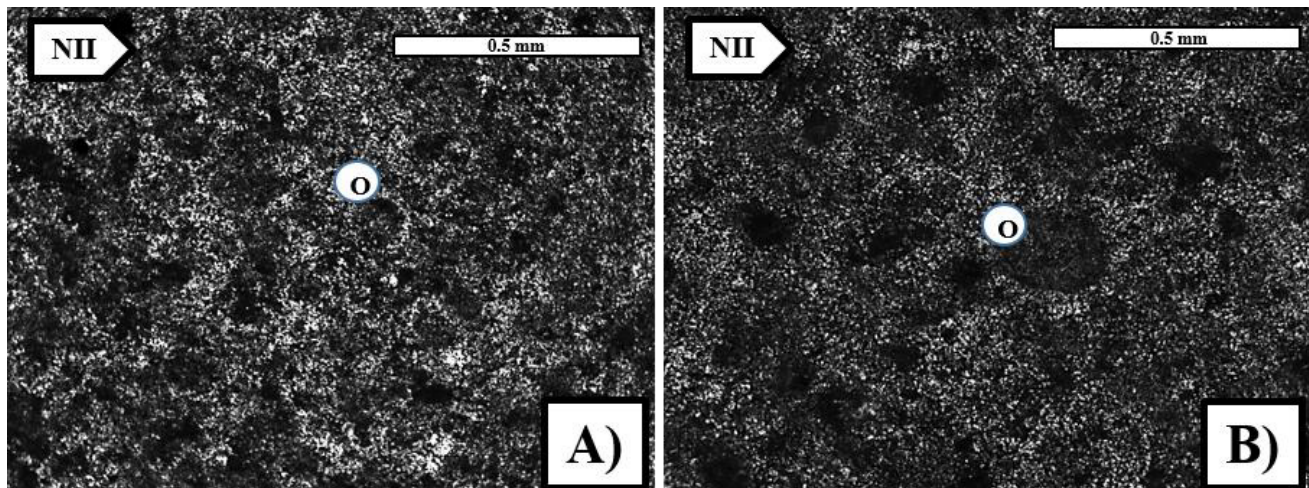


**Figura 5. 11:** A– B) ZULOAGA-05, *Wackestone* con pequeños bioclastos indeterminados, en un aumento de 2.5x, en un aumento de 2.5x. **Abreviaciones,** NII= Nicles paralelos.

5.3.2.5 Muestras: ZULOAGA – 06, Figura 5. 12.

**Tabla 5.6:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.17 A**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris claro con estilolitas y presencia de huellas de karstificación.
Estratificación	Masiva no se puede reconocer direcciones de la estratificación preferencial
Textura Depositional	Cemento localmente <i>Grainstone</i>
Aloquímicos	<u>Microscópico</u> : Cemento esparítico con, ooides y organismos indeterminados.
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 8. Plataforma abierta somera
Tipo de Microfacies (SMF)	16
Interpretación	El ambiente corresponde a la plataforma somera influida por el viento, áreas con acción de oleaje constante en o arriba de la base del oleaje.



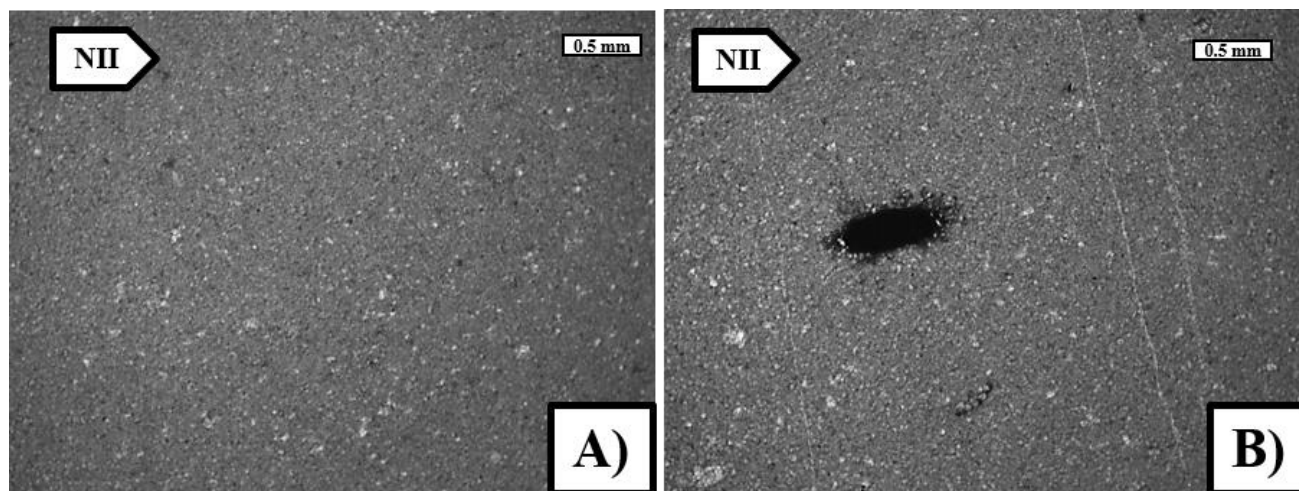
**Figura 5. 12:** A– B) ZULOAGA-06, *Grainstone* con ooides, en un aumento de 10x, **Abreviaciones**, NII= Nicoles paralelos.



## 5.3.2.6 Muestras: ZULOAGA – 07, Figura 5. 13.

**Tabla 5.5:**  
**Muestra en afloramiento ,Figura 3.17 A**

Litología y estructuras sedimentarias	Caliza de color gris claro con estilolitas y presencia de huellas de karstificación.
Estratificación	Masiva no se puede reconocer direcciones de la estratificación preferencial
Textura Depositional	Lodo
Aloquímicos	<u>Microscópico:</u> Matriz micrítica con organismos indeterminados
Zona de Facies	Esta unidad equivale a la Facies 8. Plataforma abierta, somera
Tipo de Microfacies (SMF)	23
Interpretación	Micrita pura y homogénea, con cristales de evaporíticos y de halita, formando en una zona de lagunar salino.



**Figura 5. 13: A– B) ZULOAGA-07, Mudstone con escasos contenido en aloquímico, en un aumento de 2.5x.**  
 Abreviaciones, NII= Nicles paralelos.

## 5.4 Interpretación de las Microfacies

Las facies y microfacies fueron construidas en base a las observaciones macroscópicas y microscópicas de los perfiles carbonatados (Perfil C y D del Anexo II) del área de estudio y utilizando los métodos propuestos por Dunham (1962); Folk (1962) y además las Facies Estándar (ZF) propuestas por Wilson (1975) y por Flügel (1982, 2004).

El perfil C y D se encuentra constituida por paquetes carbonatados, de las cuales 50 m pertenecen a los carbonatos de la Formación. Novillo y 130 m corresponden a la Formación Zuloaga (ver el perfil C y D del Anexo II), los perfiles de los componentes carbonatados para cada unidad cuentan entonces, con las siguientes características:

Las microfacies estándar (SMF) observadas en la sección estudiada pertenecen a la zona de facies FZ7 y FZ8.

La Formaciones Novillo y Zuloaga presenta Microfacies (SMF 9-10, 16) FZ7 a excepción de las muestras NOVILLO-03, ZULOAGA -04, ZULOAGA-06 y ZULOAGA-07 que indican Microfacies (SMF 16, 23) FZ8.

Las Facies FZ7 son ambientes de plataforma abierta someras por la presencia de bioclástonos revestidos, transportados, bioturbación, foraminíferos y cemento micrítico.

Las Facies FZ8 son ambientes de aguas muy someras lagunas con moderada circulación, organismos indeterminados con presencia ooides gasterópodos, ausencia de radiolarios y cemento esparítico.

### 5.4.1 Modelo paleoambiental

Con los resultados entonces de las formaciones carbonatadas que se tiene en el Jurásico para el área de estudio por medio del análisis microfacial llevado a cabo, es posible llegar a una construcción del ambiente de depósito el cual se desarrolló para las Formaciones Novillo y Zuloaga, y se interpreta que los sedimentos debieron acumularse en un ambiente cálido zonas de plataforma restringida y abierta (Figura 5. 14), con circulaciones de aguas tranquilas (Micrita, bioturbación, miliólidos, gasterópodos, radiolarios) a moderado (Esparíta, ooides) por debajo de la base del oleaje. Además, el análisis de las muestras indica que ubican en una plataforma somera o nerítica por el contenido bioclástico, la presencia de micrita y/o esparita y la ausencia de organismos propios de ambientes profundos.

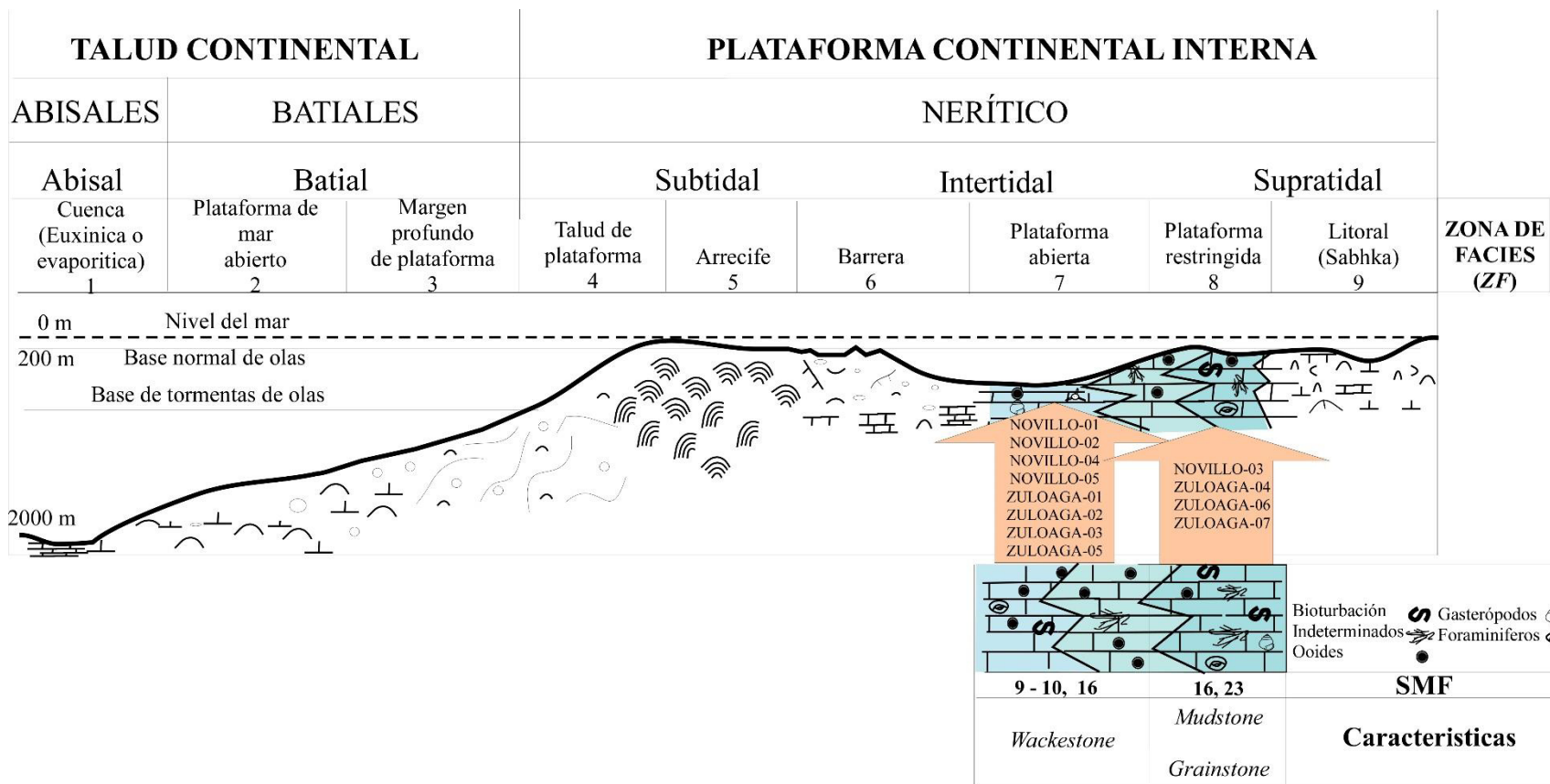


Figura 5. 14: Modelo del ambiente deposicional propuesto para la formaciones Novillo y Zuloaga, en el área del Cerro La Cruz, Aramberri, N.L.

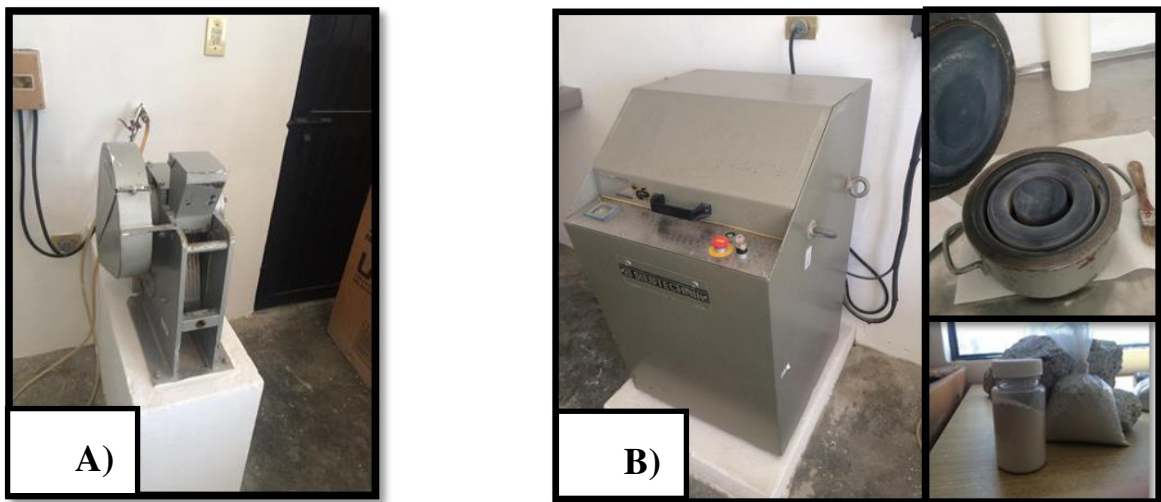
## 6 GEOQUÍMICA

### 6.1 Metodología del Análisis Geoquímico

A partir de los perfiles estratigráficos elaborados para el área de estudio, se llevó a cabo la toma de muestra sistemáticamente, recolectando un total de 23 muestras frescas de arenisca de grano medio – grueso, correspondientes a las formaciones clásticas del Jurásico (Fm. Boca, Joya y Olvido) y 11 muestras frescas de caliza, correspondientes a las formaciones carbonatadas del Jurásico (Fm. Novillo y Zuloaga). Para cada una de estas se llevó a cabo un análisis petrográfico en el caso de los sedimentos clásticos (CAPÍTULO IV), a partir del cual se estableció una primera interpretación sobre la clasificación, procedencia y ambiente tectónico, mientras que para las rocas carbonatadas se llevó a cabo un análisis microfacial (CAPÍTULO V), dando como resultado los componentes y tipo de ambiente de depositación al que pertenecen las rocas.

Las muestras fueron pulverizadas en el Laboratorio de Preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL para lograr obtener un polvo fino, con el fin de llevar a cabo el análisis geoquímico, bajo el siguiente procedimiento:

- 1) En principio, se tomaron ~300g de muestra de mano a las que se retiró la capa superficial, con el fin de tener una muestra fresca y sin evidencia visual de alteración.
- 2) Posteriormente, las muestras fueron quebradas hasta obtener pequeños fragmentos con ayuda de un martillo geológico. Los fragmentos se colocaron en un triturador de tipo *Sibetechnik EB 7/6* (Figura 6. 1A), a fin de reducir a un tamaño de diámetro de ~ 0.5mm.
- 3) Finalmente, la molienda se efectuó en un molino de ágata de tipo *Siebtechnik Ts 100 A* (Fig. 6.1B), a una velocidad de 1,500 rpm durante 10 minutos. El resultado de la molienda fue un polvo de tamaño de partícula de 200 a 400 mallas (75 a 38  $\mu\text{m}$ ), el cual fue enviado para su análisis químico al laboratorio comercial ACME (*Analtical Laboratories Ltd.* Canadá).



**Figura 6. 1:** A) Triturador de tipo *Sibetchnik EB 7/6*, B) Molino de ágata de tipo *Siebtechnik Ts 100 A*

La determinación de elementos mayores (% peso) se llevó a cabo por medio de Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado por Inducción (*ICP-OES*). Por otra parte, los elementos traza (ppm), incluyendo elementos de tierras raras (*REE*), fueron analizados por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado por Inducción (*ICP-MS*). Adicionalmente, se efectuó la determinación de  $\text{CO}_2$ , que representa una aproximación del contenido de carbonato de calcio sedimentario en todas las muestras. En la Tabla 6.1 se reporta la composición geoquímica de las muestras bajo estudio.

## 6.2 Geoquímica de las rocas clásticas

### Introducción

La aplicación de la geoquímica en la caracterización de procesos geológicos ha tenido un gran desarrollo en los últimos años. Para el caso de estudios de procedencia de sedimentos terrígenos, esta información ha complementado enormemente a la que se obtiene en la petrografía. En las últimas décadas se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la composición química de las rocas detríticas (Elementos mayores, trazas y tierras raras; por ejemplo, Taylor & McLennan, 1981; 1985).

La composición geoquímica de las rocas sedimentarias terrígenas es una función de los siguientes procesos sedimentarios: (1) la procedencia, (2) el intemperismo químico, (3) el transporte, (4) el ambiente de depósito y (5) la diagénesis (Nesbitt, 2003; Ochoa *et al.*, 2007; Peterson, 2009). Todos estos factores modifican la composición inicial de la roca fuente, dando lugar a la pérdida o la adición de elementos.

La información geoquímica puede ser utilizada para evaluar los procesos antes mencionados. Inicialmente, puede utilizarse con fines de nomenclatura, clasificación y procedencia, aplicando, por ejemplo, los esquemas propuestos por Nesbitt & Young (1982), Pettijohn (1963, 1987), Taylor & McLennan (1985), Roser & Korsch (1986, 1988), Herron (1988), McLennan (1989), McLennan *et al.* (1993), Jenchen (2001) y Jenchen & Rosenfeld (2002). Aunque en estas propuestas se utilizan elementos mayores y traza, las características geoquímicas de la roca fuente (procedencia), así como su afinidad tectónica, comúnmente son inferidas considerando aquellos elementos que no presentan una movilidad significativa al estar en contacto con fluidos acuosos (por ejemplo, Ti, Al, Zr, Y, Hf, tierras raras; Taylor & McLennan, 1981; 1985).

De esta forma, en este capítulo se describirá el esquema analítico aplicado para generar la composición química de las areniscas analizadas, la cual ha sido utilizada en la clasificación de las rocas, establecer su procedencia y afinidad tectónica, así como evaluar el proceso de transporte y diagénesis.

**Tabla 6. 1:** Composición química de las areniscas con valores de elementos mayores (%m/m), trazas (ppm) y relaciones de elementos inmoviles para el área de estudio.

Muestras	BOCA-01	BOCA-02	BOCA-03	BOCA-04	BOCA-05	BOCA-06	BOCA-07	BOCA-08	BOCA-09	JOYA-01	JOYA-02	JOYA-03	JOYA-04
<b>Elementos Mayores (%peso)</b>													
	<b>Formación La Boca</b>								<b>Formación La Joya</b>				
SiO <sub>2</sub>	72.65	62.34	69.58	73.92	73.98	71.91	58.83	56.45	59.08	64.22	62.36	52.44	65.67
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.44	0.6	0.36	0.19	0.23	0.42	0.54	0.66	0.61	0.55	0.19	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.09	13.79	12.1	10.21	10.01	10.61	9.06	7.36	11.4	12.12	12.6	5.07	5.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.38	3.32	4.25	1.75	1.48	1.49	3.5	1.32	3.69	3.79	5.15	1.02	1.68
MgO	0.78	1.37	1.92	0.51	0.34	0.43	0.56	0.59	2.57	2.16	2.09	0.81	0.89
CaO	0.95	5.13	2.53	3.01	3.15	3.6	5.64	5.89	5.31	5.11	5.12	9.89	1.13
Na <sub>2</sub> O	1.44	2.5	0.97	2.28	2.46	2.49	2.32	2.23	1.07	1.96	0.8	1.13	1.94
K <sub>2</sub> O	4.09	1.53	2.31	2.79	2.29	2.69	3.18	1.52	2.82	0.92	0.45	1.79	1.79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.09	0.1	0.07	0.06	0.07	0.06	0.12	0.13	0.11	0.09	0.04	0.06
LOI	2.90	5.5	4.3	3.4	3.9	4.7	7.9	15.1	8.4	5.9	7.2	26.4	19.2
CO <sub>2</sub>	0.45	4.01	1.4	1.72	2.09	1.71	8.43	8.95	4.83	3.04	3.6	0.82	1.49
<b>Suma</b>	<b>99.96</b>	<b>100.02</b>	<b>100.06</b>	<b>100.02</b>	<b>99.95</b>	<b>99.93</b>	<b>99.9</b>	<b>100.07</b>	<b>99.96</b>	<b>99.94</b>	<b>100.01</b>	<b>99.6</b>	<b>99.97</b>
<b>Elementos Trazas(ppm)</b>													
Ba	374	123	395	638	560	647	719	251	528	412	781	232	896
Sc	3	8	10	5	4	4	5	7	13	14	13	4	5
Zr	147	141	180	127	90	110	92	291	178	170	165	44	73
Nb	7.2	9	13	6	6.1	6.2	8.9	12	13.6	11.2	11.1	4.6	6.3
Y	15.9	24.7	14.5	9.4	10.7	11.4	17.2	26.9	28	14.2	16.1	14.3	11.4
Th	12.4	6.1	6.3	7.2	6	6.7	7.5	8.7	7.4	6.9	8.7	7	8.1
Co	5.2	6.8	7.3	2.7	1.5	2.4	3	5.3	14.3	8.5	9	2	2.5
Hf	4.2	4	4.9	3.3	2.4	3.2	2.2	7.7	4.8	4.3	4.7	1.2	2
U	3.8	1.1	1.2	1.3	1.3	1.6	1.2	1.2	1.3	1.7	2.2	1	1.1
<b>Elementos de Tierras Raras(ppm)</b>													
La	20.8	34.2	18.3	9	9.8	14.8	19.6	32.2	23.1	14.6	14	23.9	16.6
Ce	41.8	64.9	38.2	17.7	17.5	31.9	38.2	68.5	47.8	30.8	30.1	44.9	30.5
Pr	4.24	7.55	4.3	2.16	2.09	3.8	4.79	7.26	6	3.56	3.52	5.14	3.33
Nd	14.8	31.6	17.1	9	8.2	14.7	18.4	28.2	25.7	15.9	14.8	17.7	12.3
Sm	2.89	6.63	3.11	1.54	1.65	2.63	3.57	5.19	5.04	3.1	3.25	3.13	2.32
Eu	0.52	1.14	0.84	0.35	0.35	0.53	0.76	1.09	1.12	0.78	0.81	0.68	0.48
Gd	2.58	5.96	3.02	1.7	1.72	2.35	3.5	4.71	5.01	3	2.99	2.67	2.23
Tb	0.41	0.85	0.44	0.27	0.3	0.37	0.48	0.72	0.8	0.42	0.52	0.43	0.35
Dy	2.45	4.55	2.44	1.68	1.93	1.99	2.69	4.15	5.01	2.71	3.23	2.21	2.01
Ho	0.58	0.79	0.6	0.32	0.37	0.4	0.56	0.85	0.92	0.56	0.65	0.43	0.42
Er	1.56	2.16	1.55	1.02	1.07	1.22	1.58	2.58	2.96	1.75	1.94	1.09	1.2
Tm	0.26	0.29	0.25	0.17	0.17	0.18	0.25	0.38	0.45	0.28	0.3	0.16	0.17
Yb	1.72	1.79	1.65	1.2	1.12	1.24	1.67	2.39	2.85	1.88	1.97	0.95	1.02
Lu	0.26	0.26	0.25	0.18	0.19	0.21	0.25	0.39	0.4	0.29	0.31	0.14	0.17
<b>Relaciones de Elementos Inmoviles</b>													
Sc/Th	4.13	0.76	0.63	1.44	1.50	1.68	1.50	1.24	0.57	0.49	0.67	1.75	1.62
La/Th	1.6	5.61	2.9	1.25	1.63	2.21	2.61	3.7	3.12	2.12	1.61	3.41	2.05
La/Sc	6.9	4.3	1.8	1.8	2.5	3.7	3.9	4.6	1.8	1.1	6.0	3.3	4.1
Ti/Nb	158	293	277	360	187	222	283	270	291	327	297	248	257
Eu*	0.19	0.18	0.27	0.22	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.26	0.26	0.24	0.21
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.2	12.9	7.5	5.1	5.9	8.1	7.9	9.1	5.5	5.2	4.8	17.0	11.0
Zr/Th	11.8	23.2	28.5	17.7	15.0	16.4	12.3	33.4	24.0	24.6	19.0	16.3	14.5
Co/Th	0.4	1.1	1.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	1.9	1.0	0.3	0.3	0.3

## Continuación

Muestras	OLVIDO-01	OLVIDO-02	OLVIDO-03	OLVIDO-04	OLVIDO-05	OLVIDO-06	OLVIDO-07	OLVIDO-08	OLVIDO-09	OLVIDO-10	OLVIDO-11
<i>Elementos Mayores (% peso)</i>						<b>Formación Olvido</b>					
SiO <sub>2</sub>	49.43	54.4	56.12	49.45	72.62	64.98	59.56	48.78	48.4	52.25	52.18
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.21	0.35	0.27	0.47	0.66	0.29	0.22	0.27	0.51	0.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.74	6.68	6.95	6.53	11.23	9.79	7.74	6.98	7.06	7.84	7.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.26	1.21	2.14	1.44	3.63	2.71	1.53	1.38	1.62	2.75	2.44
MgO	0.62	0.61	1.15	0.63	1.25	1.31	0.62	0.77	0.97	1.36	1.66
CaO	8.98	9.93	13.18	10.28	1.68	5.9	13.47	12.4	11.92	10.79	10.21
Na <sub>2</sub> O	1.13	1.34	1.43	1.43	0.88	0.83	1.44	0.65	1.16	0.87	1.94
K <sub>2</sub> O	2.12	2.35	1.88	2.13	3.45	3.3	3.05	2.2	2.12	2.34	3.97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.07	0.07	0.08	0.11	0.06	0.06	0.06	0.1	0.08
LOI	16.7	14.6	8.6	14.7	3.9	6.7	6.1	14.3	14.1	11.7	10.8
CO <sub>2</sub>	13.82	8.55	8.22	13.04	0.84	3.77	6.23	12.19	12.37	9.52	8.94
<b>Suma</b>	<b>100.07</b>	<b>99.93</b>	<b>100.09</b>	<b>99.97</b>	<b>100.03</b>	<b>100.06</b>	<b>100.09</b>	<b>99.93</b>	<b>100.05</b>	<b>100.03</b>	<b>99.93</b>
<i>Elementos Trazas(ppm)</i>											
Ba	362	425	332	516	456	429	763	204	323	259	469
Sc	4	4	6	4	8	9	5	5	5	9	7
Zr	64	67	98	68	127	263	106	63	74	192	144
Nb	4.4	4.4	7.2	6.7	9.8	14.2	10.3	10.7	9.8	13	16.5
Y	16.5	13.7	13.6	10.7	5.7	16.6	11.4	17.5	16.1	16.4	15.2
Th	3.2	3.6	4.3	4.1	7.6	10	4.6	3.8	4.1	6.5	7.9
Co	5.7	5.7	9.4	4.8	4.2	5.6	4.1	1.8	5.4	3.7	3.5
Hf	1.6	1.9	2.7	1.7	3.6	6.5	3	1.6	2.1	4.8	3.4
U	1.9	1.9	1.8	2.2	1.9	2.7	2.3	1	2	2.5	2
<i>Elementos de Tierras Raras(ppm)</i>											
La	16.5	13.7	13.6	10.7	5.7	16.6	11.4	17.5	16.1	16.4	15.2
Ce	36.5	30.4	26.5	23.9	12.4	33.5	22.4	36.2	32.3	29.3	32.1
Pr	3.85	3.22	2.99	2.91	1.65	3.98	2.72	4.05	3.86	3.38	3.51
Nd	15.8	13.2	11.4	11.4	6.8	15.2	10.4	16	13.7	13.3	12.9
Sm	3	2.6	2.41	2.34	1.81	2.78	2	2.8	2.86	2.83	2.35
Eu	0.86	0.68	0.63	0.48	0.38	0.59	0.47	0.72	0.68	0.57	0.53
Gd	2.92	2.36	2.73	2.07	1.66	2.77	1.89	2.63	2.66	2.65	2.4
Tb	0.43	0.33	0.41	0.35	0.28	0.43	0.3	0.45	0.43	0.39	0.32
Dy	2.38	1.85	2.33	2.16	1.62	2.69	1.75	2.69	2.25	2.46	2.18
Ho	0.44	0.39	0.52	0.4	0.33	0.54	0.38	0.47	0.45	0.47	0.44
Er	1.36	1.17	1.41	1.2	1.16	1.8	1.18	1.56	1.24	1.67	1.27
Tm	0.21	0.17	0.19	0.16	0.17	0.28	0.16	0.2	0.2	0.24	0.2
Yb	1.4	1.09	1.15	1.04	1.12	1.96	1.05	1.23	1.23	1.58	1.33
Lu	0.2	0.15	0.22	0.12	0.19	0.32	0.17	0.2	0.19	0.23	0.19
<i>Relaciones de Elemento Inmoviles</i>											
Th/Sc	1.55	1.90	1.22	2.28	1.08	1.11	1.92	0.96	1.42	1.00	1.14
La/Th	2.6	1.8	1.8	1.1	0.6	1.6	1.2	3.6	2.3	1.82	1.9
La/Sc	4.1	3.4	2.3	2.7	0.7	1.8	2.3	3.5	3.2	1.8	2.2
Ti/Nb	300	286	291	242	288	279	169	123	165	235	189
Eu*	0.29	0.27	0.25	0.22	0.22	0.21	0.24	0.27	0.25	0.21	0.22
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.0	8.5	8.0	7.0	3.4	5.7	7.3	9.6	8.8	7.0	7.7
Zr/Th	15.2	12.7	13.5	10.7	14.8	26.3	11.1	21.5	14.6	21.4	18.1
Co/Th	0.9	0.8	1.3	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4



### 6.3 Elementos Mayores

La composición química en elementos mayores es un reflejo de los componentes principales de una roca detrítica y que son observables en petrografía (por ejemplo, cuarzo, feldespato, plagioclasa, mica, circón, etc.), siendo un trazador de la composición del área fuente.

En general, las areniscas analizadas en el presente estudio muestran un intervalo amplio del elemento dominante, SiO<sub>2</sub> (Formación La Boca: 56-73%; Formación La Joya: 52-65%; Formación Olvido: 48-72%). Estos valores pueden ser un reflejo de un alto contenido de granos de cuarzo (Qz). El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es el segundo componente en importancia (Formación La Boca: 7-14%; Formación La Joya 5-12%; Formación Olvido: 5-11%), el cual puede estar asociado a la presencia de feldespato y plagioclasa. Una concentración más restringida se observa en Na<sub>2</sub>O (Formación La Boca < 3%; Formación La Joya < 2%; Formación Olvido < 2%) y en K<sub>2</sub>O (Formación La Boca: 1-4%; Formación La Joya < 2%; Formación Olvido: 2-4%), cuyo contenido depende de la abundancia de la matriz arcillosa, la cual se produce por alteración de feldespatos y plagioclasas. De igual forma, las concentraciones de MgO son relativamente bajas (Formación La Boca < 3%; Formación La Joya < 3%; Formación Olvido < 2%), en donde las ligeras variaciones pueden estar relacionadas al contenido matricial con algo de magnesio.

Por otro lado, el contenido de CaO depende de la incorporación de carbonato al material clástico durante su depósito. De esta forma, los valores del CaO fueron ajustados para obtener la concentración de CaO\* (calcio de origen clástico) a partir del CaO<sub>med</sub> en las muestras (CaO<sub>med</sub> = CaO asociado a los silicatos + CaO asociado a los carbonatos; Nesbitt & Young, 1982).

### 6.3.1 Diagramas de relaciones con Elementos Mayores

La relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  se ha utilizado como un indicador de madurez para sedimentos clásticos, ya que esta relación se incrementa en la medida que el cuarzo se acumula en forma progresiva a expensas de la pérdida de fases menos resistentes durante el interperismo, la erosión, el transporte o reciclaje (Roser & Korsch, 1986). La Formación La Boca se caracteriza por mostrar un intervalo de 4.5 - 7.6 (promedio = 6.3; n=8) para la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . La Formación La Joya muestra una relación de 4.9 - 11.2 (promedio = 7.9; n=4), mientras que la Formación Olvido presenta un intervalo de 6.4 - 8.6 (promedio = 7.3; n=11).

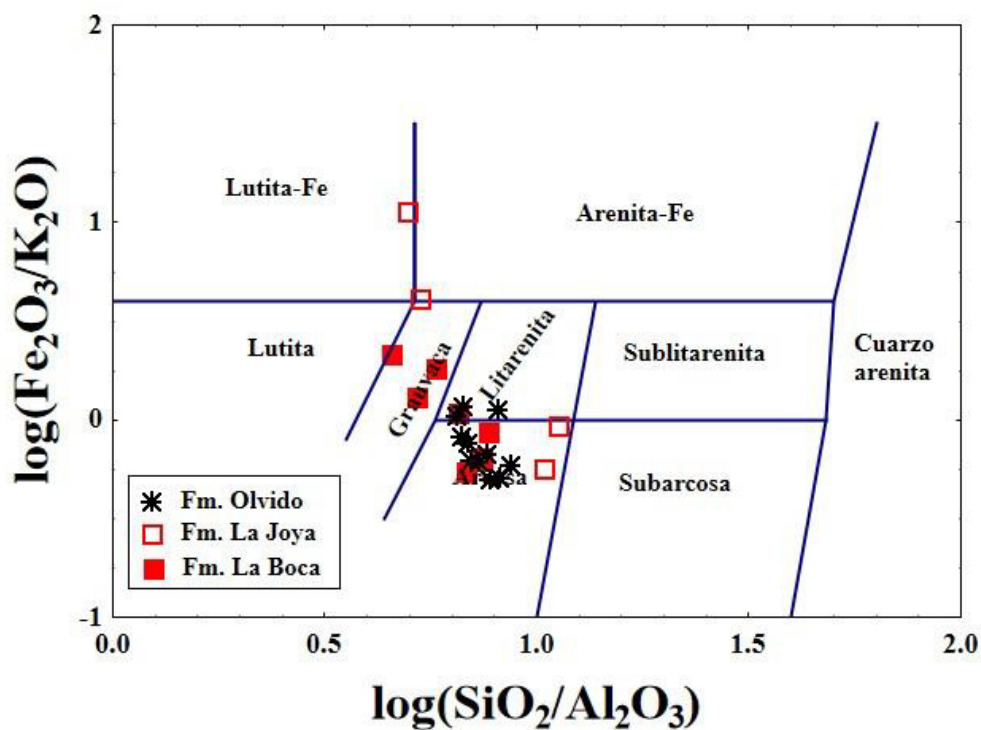
La relación  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  se ha reconocido como un indicador para establecer el tipo de sedimento clástico y el ambiente tectónico, la cual se incrementa con la madurez sedimentaria (Roser & Korsch, 1986). Este aumento se relaciona generalmente con la transformación de los feldespatos y otros constituyentes en arcillas ricas en K. Una relación uniforme de  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  sugiere poca variación composicional de la fuente de los sedimentos. La Formación La Boca se caracteriza por mostrar un intervalo de 0.6 - 2.6 (promedio = 1.3; n=8) para la relación  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ . La Formación La Joya se caracteriza por una relación de 0.5-1.5 (promedio = 0.8; n=4), mientras que la Formación Olvido presenta un intervalo de relación de 0.05 - 0.52 (promedio= 0.15; n=11).

Las relaciones antes reportadas son útiles para establecer una clasificación de las rocas detríticas (Herron, 1988; Pettijohn, 1963; 1987), proporcionan una sobrevista sobre los procesos de alteración química (Feng & Kerrich, 1990; Nesbitt & Young, 1989) y, por último, son de utilidad para determinar el tipo de ambiente geotectónico asociado (Bathia & Crook, 1983; Roser & Korsch, 1986).

No obstante, las variaciones en estas relaciones pueden ser influenciadas por el medio en donde se depositan los clastos, el cual no es homogéneo. Como sistema abierto puede ser afectado por depositaciones sin – o post – sedimentarias.

### 6.3.1.1 Clasificación de las rocas detríticas del área de estudio

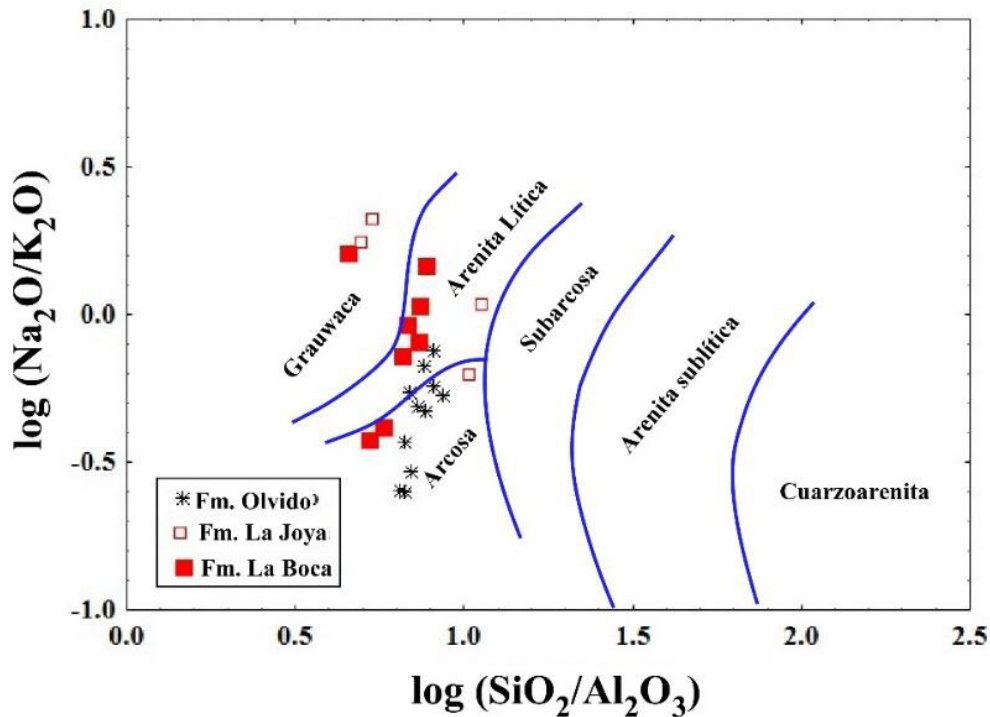
Herron (1988) propuso un diagrama para la clasificación de las rocas detríticas, donde se enfrenta la relación de  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  vs  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ . Este esquema fue aplicado a las rocas clásticas pertenecientes a las Formaciones La Boca, La Joya y Olvido (Figura 6. 2). Las muestras de la Formación La Boca se distribuyen en los campos de Grauwaca – Arcosa, las de la Formación La Joya presentan composiciones variables entre Lutita – Fe, Grauwaca y Arcosa. Las muestras de la Formación Olvido se concentran en los campos de Litoarenita – Arcosa con mayor contenido de detritos.



**Figura 6. 2** Clasificación geoquímica con relaciones de  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  vs  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  de las areniscas del Cerro La Cruz en Aramberri, Nuevo León. (Herron, 1988)

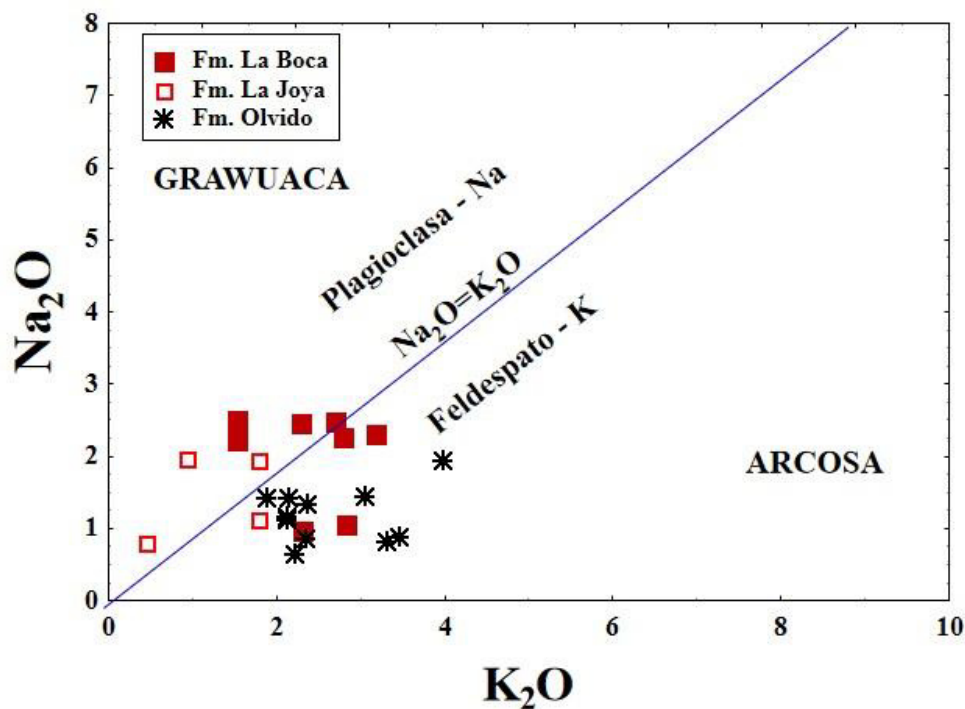
Otro diagrama de clasificación utilizado fue el de Pettijohn (1963, 1987), que utiliza las relaciones de  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  vs  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (Figura 6. 3). En este diagrama se observa que las muestras de la Formación La Boca se asocian a rocas de tipo Arenita Lítica – Arcosa, con una sola muestra dentro del campo de las Grauwacas. Las muestras de la Formación La Joya se distribuyen en los campos de Grauwaca, Arenita lítica y Arcosa. Por último, la mayor parte de las muestras procedentes de la

Formación Olvido se ubican en el campo de la Arcosa, aunque una pequeña cantidad presenta características de Arenita Lítica.



**Figura 6. 3:** Clasificación geoquímica con relaciones de  $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  vs  $\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  de las areniscas del Cerro La Cruz en Aramberri, Nuevo León. Pettijohn (1963; 1987)

Por último, con base en el diagrama clasificatorio de Jenchen (2001), el cual se basa en los componentes  $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{Na}_2\text{O}$  (Figura 6. 4), se observa que la mitad de las muestras de la Formación La Boca se concentran en el campo de las Grauwacas (ricas en  $\text{Na}_2\text{O}$ ) y la otra mitad en el campo de las Arcosas (ricas en  $\text{K}_2\text{O}$ ). La mayor parte de las muestras de la Formación La Joya tienden a ser Grauwacas, a excepción de una muestra que se ubica en el campo de Arcosa. Las muestras de la Formación Olvido se presentan en el campo de composición Arcosa.



**Figura 6. 4:** Clasificación geoquímica con relaciones de  $\text{Na}_2\text{O}$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  de las areniscas del Cerro La Cruz en Aramberri, Nuevo León. Jenchen (2001)

### 6.3.1.2 Índice de alteración química (CIA)

El grado de intemperismo químico puede representarse y cuantificarse de manera general por medio del índice de alteración química (*CIA*, *Chemical Index of Alteration*; Nesbitt & Young, 1982). Durante el intemperismo químico de rocas ígneas, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tiende a incrementarse en los sedimentos durante la alteración de las rocas fuentes, mientras que los elementos alcalinos y alcalinos térreos como  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  (Ocampos-Díaz, 2011) disminuye. El *CIA* entonces puede expresarse en base a los siguientes datos:

$$CIA = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$$

Siendo  $\text{CaO}^*$  el contenido de  $\text{CaO}$  asociado a la fracción silicatada.

Para el valor de  $\text{CaO}^*$  debe ser recalculado empleando los factores de conversiones estequiométricos propuestos por Heinrichs & Herrmann (1990), estimando las proporciones moleculares de la siguiente manera.

**Calculo de CaO\* derivado de CO<sub>2</sub>**

El cálculo para el contenido de CaO\* fue estimado a partir de la concentración de CO<sub>2</sub> llevado a cabo para la muestra BOCA-01, y utilizando los valores de la Tabla 6. 2 y siguiendo los puntos que se presentan a continuación podemos obtener el valor del CaO\*.

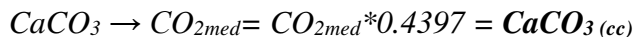
**Tabla 6. 2:** Tabla de conversión estequiometrica propuesta por Henrich & Hermann (1990), donde **F** es el valor de conversión.

Solicitado	Representado	F	1/F
CO <sub>2</sub>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.4773	2.095
CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	0.4397	2.2743
CaO	CO <sub>2</sub>	1.2742	0.7848
CaO	CaCO <sub>3</sub>	0.5603	1.7848
MgO	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.2186	4.5752
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.4576	2.1852

**Estimación de valores para los carbonatos (Calcita, Dolomita y Apatito) a partir de CaO, MgO, CO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.**

Para la Calcita.

I.- Estimar el valor del CaCO<sub>3</sub> procedente del CO<sub>2</sub> medido



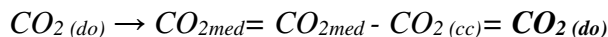
II.- Del CaCO<sub>3</sub> obtenido del CO<sub>2</sub> estimar el valor de CaO



III.- Determinar el valor de CO<sub>2</sub> (cc) a partir del valor obtenido del de CaO (cc)

Para la Dolomita

IV.- Estimar el valor de CO<sub>2</sub> (do) a partir de la diferencia del CO<sub>2</sub> medido y el calculado CO<sub>2</sub> (cc)



V.- Establecer el valor de CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> a partir del MgO<sub>med</sub>

$$CaMg (CO_3)_{2(do)} \rightarrow MgO_{med} = MgO_{med} * 0.2186 = CaMg (CO_3)_{2(do)}$$

VI.- Se procede a determinar el valor de CaO para la dolomita a partir de CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2(do)</sub>

$$CaO \rightarrow CaMg (CO_3)_{2(do)} = CaMg (CO_3)_{2(do)} / (CO_{2(do)} + MgO_{med}) = CaO^*_{(do)}$$

#### Para el Apatito

VII.- Estimar el valor de Ca<sub>3</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> a partir del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> medido

$$Ca_3 (PO_4)_2 \rightarrow P_2O_5 = P_2O_{5med} * 0.21852 = Ca_3 (PO_4)_2 (Ap)$$

VIII.- Una vez estimado el Ca<sub>3</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>2 (ap)</sub> determinar el valor de CaO para el apatito a partir del CaO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> medido

$$CaO \rightarrow Ca_3 (PO_4)_2 (ap) = Ca_3 (PO_4)_2 (ap) / (CaO_{med} + P_2O_{5med}) = CaO^*_{(ap)}$$

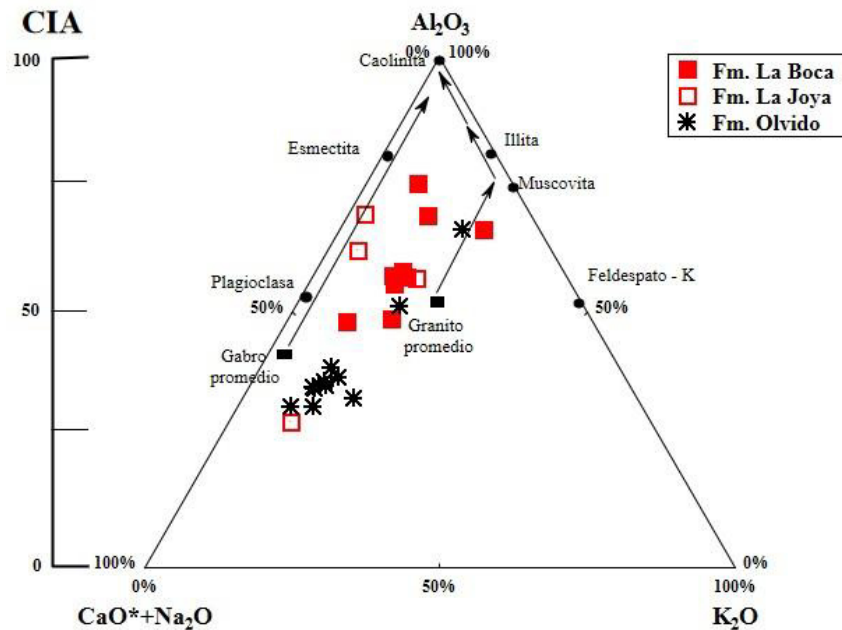
IX.- Por último, determinar el valor de CaO\* a partir de la diferencia del CaO med y los valores de CaO obtenido a partir de las estimaciones de los carbonatos.

$$CaO^* \rightarrow [CaO^*_{(cc)} - CaO^*_{(do)} - CaO^*_{(ap)}] = CaO^*$$

Una vez obtenido el valor de CaO\* se procede a emplearse al cálculo del CIA (CIA= [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO\* + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)]), lo que nos da como resultado un 66.32 % para la muestra BOCA-01. En la tabla 6.3 se presenta las concentraciones y porcentajes de CIA para las demás muestras.

Una vez obtenido los valores de CIA, las trayectorias de intemperismo pueden representarse sobre un diagrama ternario (CaO\* + Na<sub>2</sub>O) – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – K<sub>2</sub>O (Figura 6. 5), propuesto por Nesbitt & Young (1982). Las etapas iniciales del intemperismo se ubican en una trayectoria paralela al lado (CaO\* + Na<sub>2</sub>O) - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mientras que si el intemperismo es mayor se tiene una marcada pérdida de K<sub>2</sub>O y una dirección marcada hacia la cima del triángulo (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Las líneas de mezclas representan la pérdida de álcalis y de Ca en la solución durante la alteración de la plagioclasa o del feldespato potásico y los silicatos ferromagnesianos.

Las muestras del área de estudio presentan patrones desde condiciones de bajo intemperismo, partiendo de los polos máficos y félsicos, hasta condiciones de intemperismo medio – alto. Presentándose entonces, para la Formación La Boca un intervalo de CIA de 48-69%, para la Formación La Joya de 28-69%, mientras que para la Formación Olvido presenta un intervalo de 33-66%.



**Figura 6. 5:** Diagrama ternario *CIA* para el intemperismo de  $(\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$  (Nesbitt & Young, 1982), los rectángulos negros representan protolito máfico o félsico y los círculos en negro representan minerales.

Los valores más altos pueden ser explicados por las características petrográficas observadas, como por ejemplo el contenido de matriz, sedimentos reciclados (ver capítulo IV). Sin embargo, los valores bajos de *CIA* pueden ser explicados según Ocampo-Díaz (2011) como: (1) Adición de elementos alcalinos y alcalino térreos por la incursión de minerales arcillosos del tipo esmectita o de componentes máficos durante el depósito; (2) Infiltración de arcillas o procesos formadores de suelos, posterior al depósito; (3) Por la formación de fases carbonatadas en los sedimentos durante la diagénesis.



**Tabla 6. 3:** Concentraciones recalculadas a partir del CO<sub>2</sub> con estimaciones de calcita, dolomita, apatito y CaO\* contenido en la fracción silicatada, como también los porcentajes finales del índice de alteración química (CIA) de las Formaciones clásticas (Formación, La Boca, La Joya y Olvido) del área de estudio

Muestras	BOCA-01	BOCA-02	BOCA-03	BOCA-04	BOCA-05	BOCA-06	BOCA-07	BOCA-08	BOCA-09	JOYA-01	JOYA-02	JOYA-03	JOYA-04	OLVIDO-01	OLVIDO-02	OLVIDO-03	OLVIDO-04	OLVIDO-05	OLVIDO-06	OLVIDO-07	OLVIDO-08	OLVIDO-09	OLVIDO-10	OLVIDO-11
<i>Valores de CaO, CO<sub>2</sub> y Carbonatos</i>	<b>Formación La Boca</b>									<b>Formación La Joya</b>				<b>Formación Olvido</b>										
<i>Calcita</i>																								
CaCO <sub>3</sub>	0.199	1.763	0.616	0.756	0.920	0.752	3.707	3.935	2.124	1.337	1.583	0.360	0.655	6.077	3.759	3.614	5.73	2.141	1.658	2.739	5.360	5.439	4.186	3.931
CaO	0.087	0.774	0.270	0.331	0.403	0.330	1.626	1.728	0.932	0.586	0.694	0.158	0.287	2.666	1.649	1.586	2.515	0.162	0.727	1.202	2.352	2.386	1.837	1.725
CO <sub>2</sub>	0.111	0.986	0.344	0.428	0.514	0.420	2.072	2.200	1.187	0.747	0.885	0.202	0.366	0.397	2.102	2.021	3.205	0.206	0.927	1.531	2.996	3.041	2.340	2.198
<i>Dolomita</i>																								
CO <sub>2</sub>	0.339	3.024	1.056	1.297	1.576	1.290	6.358	6.750	3.643	2.293	2.715	0.618	1.124	10.42	6.448	6.199	9.835	0.634	2.843	4.699	9.194	9.329	7.180	6.742
CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.170	0.299	0.420	0.111	0.074	0.094	0.122	0.129	0.562	0.472	0.457	0.177	0.195	0.136	0.133	0.251	0.138	0.273	0.286	0.136	0.168	0.212	0.297	0.363
CaO	0.152	0.068	0.141	0.062	0.039	0.055	0.018	0.018	0.090	0.106	0.095	0.124	0.097	0.012	0.019	0.034	0.013	0.145	0.069	0.025	0.017	0.021	0.035	0.043
<i>Apatito</i>																								
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.087	0.041	0.046	0.032	0.027	0.032	0.027	0.055	0.059	0.050	0.041	0.018	0.027	0.023	0.023	0.032	0.032	0.037	0.050	0.027	0.027	0.027	0.046	0.037
CaO	0.088	0.008	0.017	0.010	0.008	0.009	0.005	0.009	0.011	0.010	0.008	0.002	0.023	0.003	0.002	0.002	0.003	0.021	0.008	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004
CaO*	0.623	4.280	2.101	2.606	2.699	3.207	3.991	4.137	4.277	4.408	4.323	9.606	0.723	6.299	8.259	11.558	7.748	1.352	5.095	12.241	10.029	9.511	8.914	8.439
<b>CIA %</b>	<b>66.3</b>	<b>62.4</b>	<b>69.2</b>	<b>57.0</b>	<b>57.3</b>	<b>55.8</b>	<b>48.8</b>	<b>48.3</b>	<b>58.2</b>	<b>62.4</b>	<b>69.3</b>	<b>28.9</b>	<b>56.7</b>	<b>37.5</b>	<b>35.8</b>	<b>31.8</b>	<b>36.6</b>	<b>66.4</b>	<b>51.5</b>	<b>31.6</b>	<b>35.1</b>	<b>35.5</b>	<b>39.2</b>	<b>33.3</b>

### 6.3.1.3 Tipos de Ambientes Tectónicos y Procedencias

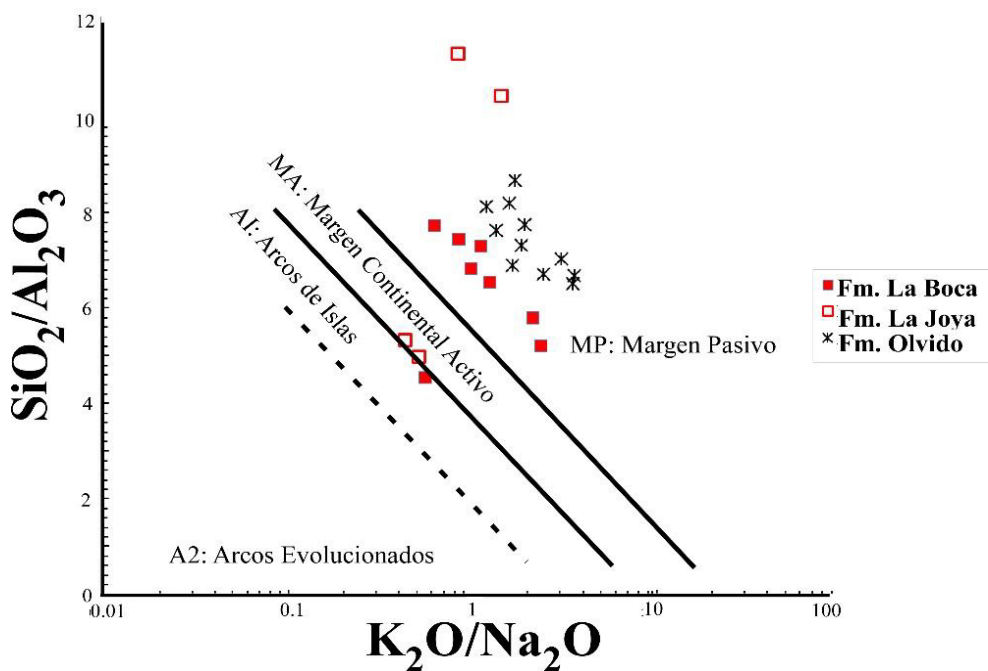
Las modificaciones post – deposicionales, como el crecimiento secundario de minerales, el desarrollo de nuevas fases por alteración de feldespatos potásicos o plagioclasas; fueron argumentadas por Crook (1974) y Morris (1988) como serias interferencias en la determinación de ambientes tectónicos y procedencias. No obstante, Roser & Korsch (1986) afirman que relaciones elementales como el cociente de la relación de  $K_2O/Na_2O$  permanecen inalterables en sedimentos aún en aquellos que han sido sometidos a un bajo grado de metamorfismo, en base a esta relación se tienen diferentes tipos de depósitos (Tabla 6. 4; ver Bathia & Crook 1983).

**Tabla 6. 4:** Clasificación de ambientes tectónicos, cuencas de depósito y tipo de procedencia relacionada a partir de la concentración de elementos mayores en rocas sedimentarias detríticas (Bathia & Crook, 1983)

Ambiente tectónico	Cuenca de depósito dominante	Naturaleza de la corteza adyacente a la cuenca	Tipo de procedencia
Arco de islas oceánico	Tras-arco y ante-arco	Arco formado sobre la corteza oceánica	Arco magmático no seccionado
Arcos de islas continental	Intra-arco, tras-arco, ante-arco	Arco formado sobre corteza continental	Arco magmático seccionado u orógeno reciclado
Margen continental activo	Cuencas marginales de antepaís “foreland” transtensivas y transpresivas	Corteza continental gruesa o basamento cristalino	Basamento elevado
Margen continental pasivo	Cuencas pericratonales y márgenes de “rifts” continental	Corteza continental	Basamento levantado e interior de cratones

En el diagrama de Roser & Korsch (1986), (Figura 6. 6) se observa que la mayor parte de las muestras se agrupan en el margen continental pasivo a excepción de tres muestras (BOCA-01, JOYA-01, JOYA-02) que se distribuyen en el margen continental activo. Las muestras que caen en el margen continental pasivo presentan un mayor enriquecimiento en cuarzo debido a que han experimentado más transporte y una relación de  $K_2O/Na_2O > 1$ , quizás debido a un enriquecimiento diagenético.

Las muestras que caen en margen continental activo presentan un menor enriquecimiento de cuarzo e indica que han experimentado menor enriquecimiento de cuarzo, lo que indica menor transporte y una relación de  $K_2O/Na_2O < 1$ . En general con este diagrama evidencia que posiblemente las muestras presentan una misma fuente de aporte o retrabajamiento de las mismas.



**Figura 6. 6:** Diagrama binario  $K_2O/Na_2O$  vs  $SiO_2/Al_2O_3$  según Roser & Korsch (1986).

En el diagrama binario con relación  $K_2O/Na_2O$  vs  $SiO_2$  propuesto por este mismo autor (Modelo 2; Figura 6. 7), se puede observar que las muestras quedan distribuidas en los campos de margen continental activo y margen continental pasivo, la información obtenida con este diagrama indica que se tiene diferentes tipos de procedencia por la irregularidad que presentan las muestras al ser graficadas o que las muestras han ido perdiendo feldespatos durante los procesos sedimentarios como reemplazamiento por minerales de arcilla, reemplazamiento por carbonatos o por disolución parcial o total. Estos resultados pueden ser engañosos debido a que se está graficando el  $SiO_2$  sin relación a otro elemento (Armstrong Altrim & Verma, 2005)



Las relaciones entre elementos inmóviles y móviles como Th/Sc, Ti/Nb, Zr/Sc (Tabla 6. 1) entre otros, son considerados como indicadores de la composición del área fuente (McLennan, 1989, Taylor & McLennan 1985; McLennan *et al.* 1993; Jenchen, 2001) La Formación La Boca se caracteriza por mostrar un intervalo de 0.63 – 1.68 ppm (promedio = 1.16 ppm; n=8), para la relación Th/Sc, la Formación La Joya es de 0.4 – 1.7 ppm (promedio= 0.12 ppm; n=4), mientras que para la Formación Olvido presenta un intervalo de relación de 0.9 – 2.2 ppm (promedio= 1.42 ppm; n=11).

La relación Ti / Nb se ha reconocido como un indicador para la composición y la procedencia. La Formación La Boca muestra un intervalo de esta relación de 186.7 – 359.7 ppm (promedio = 236.41 ppm; n=8), la Formación La Joya es de 247.6 – 326.5 ppm (promedio= 282.9 ppm; n=4), mientras que la Formación Olvido presenta un intervalo de relación de 123.2 – 299.7 ppm (promedio= 233.3 ppm; n=11).

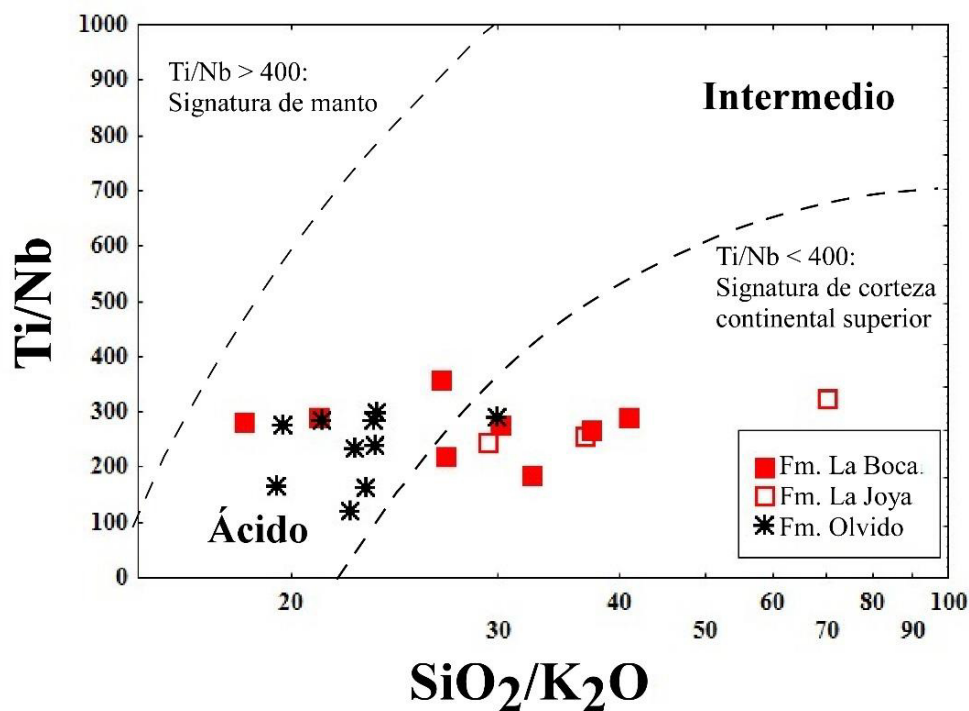
Por último, la relación Zr / Sc para la Formación La Boca cubre un intervalo de 13.6 – 27.4 ppm (promedio = 21.3 ppm; n=8), la Formación La Joya de 12.1 – 28.5 ppm (promedio= 19.2 ppm; n=4), mientras que la Formación Olvido muestra un intervalo de relación de 15.9 – 29.2 ppm (promedio= 21.6 ppm; n=11).

Por medio de estos elementos traza es posible establecer la composición e indicar de qué tipo de procedencias de las muestras a través de diagramas propuestos por Taylor & McLennan 1985; Bathia & Crook, 1986; McLennan *et al.* 1993 y Jenchen, 2001.

#### 6.4.1 Composición y Fuente

Jenchen (2001) propuso el el diagrama Ti/Nb vs SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O (Figura 6. 8) que ha sido considerado como un índice útil para indentificar el tipo de composición y procedencia. Las muestras de la Formación La Boca exhiben un patrón al igual que las de la Formación La Joya, mostrando una afinidad acida, mientras que la Formación Olvido proviene de un área intermedio a ácida.

En general, todas las muestras cuentan con firmas característicos para una fuente de corteza cortical en base a la relación Ti/Nb < 400.



**Figura 6. 8:** Diagrama binario propuesto por Jenchen (2000) en la cual presenta la relación  $Ti/Nb$  vs  $SiO_2/K_2O$ .

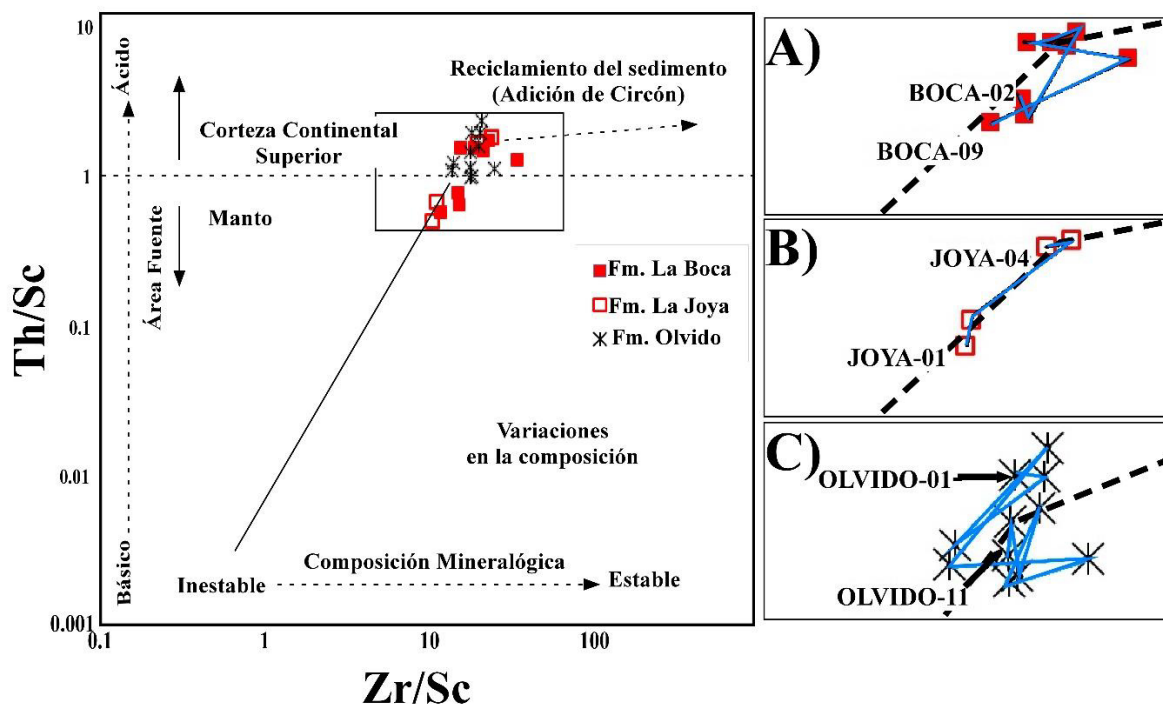
#### 6.4.2 Transporte y Reciclamiento

La relación  $Zr/Sc$  se ha considerado como un índice útil para evidenciar el enriquecimiento de circón, dado que el  $Zr$  es fuertemente enriquecido en ese mineral, mientras que el  $Sc$  no lo es. El incremento de esta relación permite conocer el grado de reciclamiento del sedimento. En contraste, la relación  $Th/Sc$  es un buen indicador para identificar procesos de diferenciación química en rocas ígneas, por lo que, rocas máficas se caracterizan por mostrar valores bajos en esta relación, mientras que las intermedias a ácidas muestran altos valores de  $Th/Sc$ .

McLennan (1989) modificado por Jenchen (2001) propuso un diagrama binario  $Zr/Sc$  vs  $Th/Sc$  (Figura 6. 9), donde la Formación La Boca muestra relaciones de  $Zr/Sc = [13.6 - 27.4]$  y  $Th/Sc = [0.5 - 1.6]$ , lo que indica que se tuvo un patrón moderado de enriquecimiento en circón, probablemente debido al transporte que ha tenido antes de haber sido depositada. Para la Formación La Joya tienen relaciones de  $Zr/Sc = [12.1 - 28.5]$  y  $Th/Sc = [0.4 - 1.7]$ , los sedimentos de esta formación experimentaron un primer ciclo de reciclamiento, ya que cada uno de ellos produce un enriquecimiento relativo de circón, mientras que la Formación Olvido cuenta con relaciones de  $Zr/Sc = [15.9 - 29.2]$  y  $Th/Sc = [0.9 - 2.2]$ . Esto evidencia que se tuvo poco reciclamiento y transporte por lo que no se tiene

un patrón muy marcado hacía el enriquecimiento de Zr/Sc. En general, se desarrolló un patrón para el reciclamiento para las areniscas de cada formación y se muestran en la Figura 6. 8 (A, B, C).

Asimismo, las muestras presentan que el área fuente proviene de fuentes ácidas, rocas félsicas (Ej. Granito, Riolita) compuestas principalmente por feldespato y cuarzo.



**Figura 6. 9:** Diagrama binario propuesto por McLennan *et al.*, (1993) modificado por Jenchen (2001) en la cual presenta la relación Zr/Sc vs Th/Sc, **A)** Patrón de incremento del reciclamiento para la Formación La Boca, **B)** Patrón de incremento del reciclamiento para la Formación La Joya, **C)** Patrón de incremento del reciclamiento para la Formación Olvido. Las Líneas indican la posición de base a techo.

### 6.4.3 Discriminación de Ambiente Tectónico

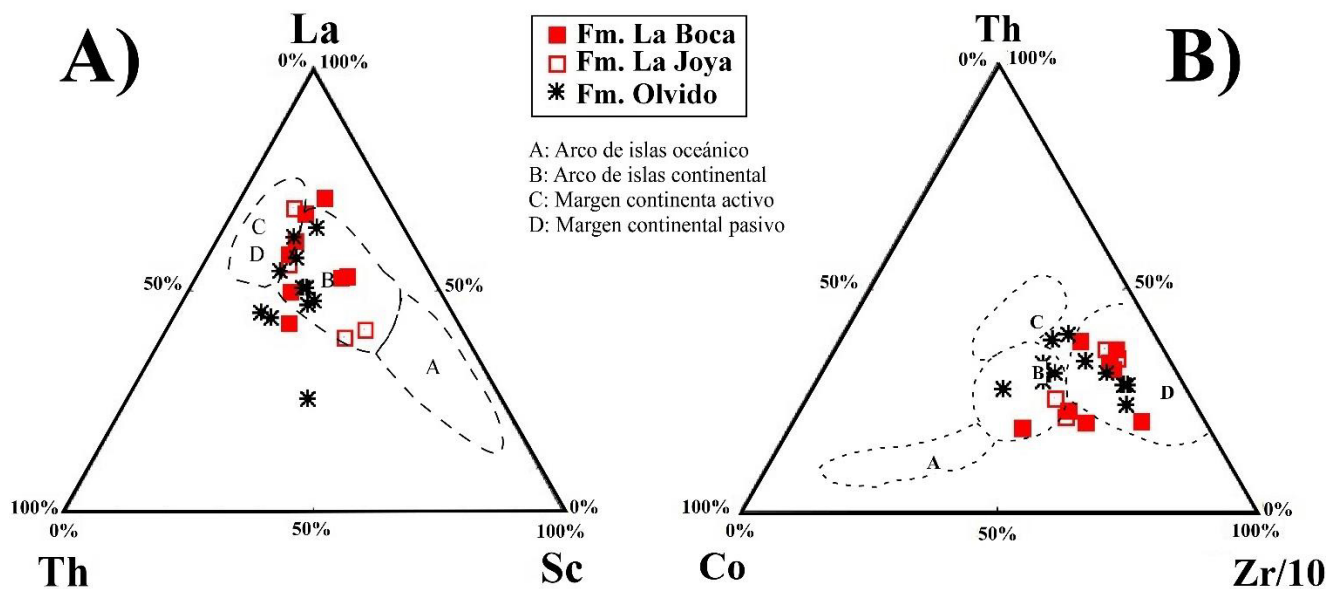
Bathia & Crook (1986) propusieron diagramas de discriminación para ambiente tectónico (Figura 6.10) y caracterización del área fuente basándose en las relaciones de elementos mayores y de Trazas (La-Th-Sc y Co-Th- Zr).

Por otro lado, Cullers (2000) basado en estudios de elementos traza contribuyeron a deducir que La y Th presentan mayores acumulaciones en rocas de fuentes ácidas, mientras que Co, Sc y Cr en fuentes básicas. Sin embargo, el Th al ser elemento incompatible y el Sc más compatible que las REE y que el Th, se utilizan como indicadores de la diferenciación del tipo de fuente cuando se presentan en relaciones La/Th y Th/Sc.

Las relaciones ayudan a diferenciar sedimentos de cuencas asociadas a diferentes ambientes tectónicos.

Las muestras de la Formación La Boca presentan un intervalo de relación en La/Sc [2.9 - 4.5], La/Th [1.25 - 5.61], Th/Sc de [0.5 - 1.6], Zr/Th de [11.8 - 33.4] y Co/ Th de [0.3 - 1.9], para la Formación La Joya intervalos de La/Sc [1.1 - 6.0], La/Th [1.61 - 3.41], Th/Sc de [0.4 - 1.7], Zr/Th de [14.5 - 24.6] y Co/ Th de [0.3 - 1.0] y para la Formación Olvido intervalos de La/Sc [0.7 - 4.1], La/Th [0.66 - 2.66], Th/Sc de [0.9 - 2.2], Zr/Th de [10.7 - 26.3] y Co/ Th de [0.4 - 1.3]. Estos valores se encuentran en la Tabla 6. 1.

Las muestras analizadas presentan una tendencia evidente hacia un enriquecimiento de La/Th ubicándose entre el límite de arco de islas continental y margen continental pasivo como se observa en el primer diagrama de La-Th-Sc (Figura 6. 10A). En el segundo diagrama de Co-Th-Zr/10 las muestras en su mayoría se enriquecen en Zr/Th distribuyéndose en el campo de margen continental pasivo y en menor medida en el arco de islas continental (Figura 6. 10B).



**Figura 6. 10:** Diagrama para discriminar ambientes tectónicos para rocas de las formaciones La Boca, La Joya y Olvido basados en las relaciones A) La-Th-Sc y B) Co-Th-Zr/10 según Bathia & Crook (1986)



#### 6.4.4 Diagramas de lantánidos (*REE*) normalizados a condrita

Los elementos de lantánidos (*REE*: La - Lu) son generalmente considerados como inmóviles (Bathia, 1985; McLennan, 1989). Por tanto, estos son útiles para comparar la composición de los sedimentos clásticos con respecto a la corteza continental, ya que presentan cambios menores en los procesos sedimentarios y la fraccionación de minerales densos (Zr, Hf y Sn) no influye sobre ellos (Cullers, 2000; McLennan, 1989).

La cantidad de *REE* depende de su abundancia en su roca fuente y las condiciones de intemperismo en su región de procedencia que ha sido los factores que controlan el contenido de *REE* en los sedimentos (Bathia, 1985).

Para graficar diagramas de lantánidos y multi-elementos es necesario normalizar a valores establecidos con respecto a condrita (Tabla 6. 5).

**Tabla 6. 5:** Valores de normalización de condritas de corteza continental (concentraciones en ppm; Taylor & McLennan, 1985)

<i>REE</i>	Condrita
La	0.367
Ce	0.957
Pr	0.137
Nd	0.711
Sm	0.231
Eu	0.087
Gd	0.306
Tb	0.058
Dy	0.381
Ho	0.0851
Er	0.249
Tm	0.0356
Yb	0.248
Lu	0.0381

La normalización tiene como propósito comparar la roca con respecto a una referencia, en este caso la composición condritica u original del sistema solar y para eliminar el efecto de *zig-zag* o mejor conocido como efecto “*Oddo – Harkins*”. En nuestro caso, se normaliza respecto a valores condriticos propuestas por Taylor & McLennan (1985).

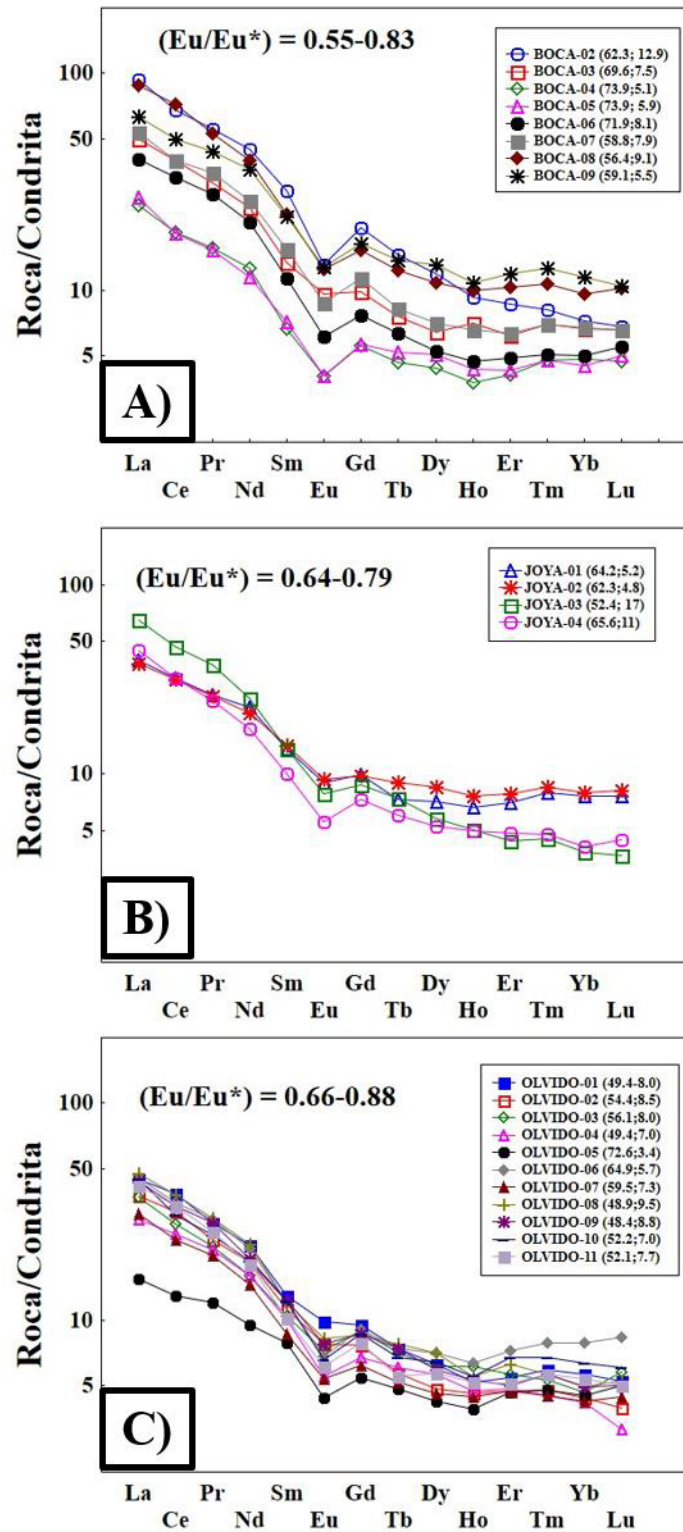
Adicionalmente, los patrones normalizados de *REE* y el tamaño de la anomalía de Eu (expresadas en términos de la relación  $Eu/Eu^*$ ) han sido utilizados para inferir fuentes de rocas sedimentarias (Taylor & McLennan, 1985), donde las rocas ígneas félsicas normalmente se caracterizan por altos valores en la relación de Tierras Raras Ligeras y Pesadas (*LREE/HREE*) Ej.  $[La/Yb]_N$  y marcadas anomalías de Eu (Ej.  $Eu/Eu^* < 1$ ). Por el contrario, si muestran bajos valores de la relación en  $[La/Yb]_N$  y anomalías de Eu pequeñas o inexistentes se infiere una asociación a rocas máficas.

La anomalía de Eu se puede cuantificar por el término de  $Eu/Eu^*$ , donde  $Eu^*$  representa el valor normalizado con respecto a los patrones de *REE* propuestos por McLennan (1989) y se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{Eu}{Eu^*} = \frac{Eu_N}{\sqrt{Sm_N * Gd_N}}$$

Donde  $N$  denota los valores normalizados vs condrita, y se pueden observar los valores para nuestras muestras en la Tabla 6. 1.

Los patrones de *REE* para las formaciones clásticas del Jurásico en el área de estudio, en general muestran un enriquecimiento en Tierras Raras ligeras (*LREE*), con intervalos para Formación La Boca de  $[La/Yb]_N = 5.1 - 12.9$ , para la Formación La Joya de  $[La/Yb]_N = 4.8 - 17$  y para la Formación Olvido de  $[La/Yb]_N = 3.4 - 9.8$ . Las tres formaciones cuentan con un patrón descendiente hacia las Tierras Raras Pesadas (*HREE*) y con anomalías de Eu como se observa en la Figura 6. 11. Por lo tanto, esto podría ser indicativo de una fuente ácida para estos sedimentos.



**Figura 6. 11:** Diagrama de lantánidos, normalizados a condrita, para las Formaciones **A)** La Boca, **B)** La Joya y **C)** Olvido. Los valores indican el intervalo de la anomalía de Eu, el % SiO<sub>2</sub> y [La/Yb]<sub>N</sub>. Datos de normalización tomados de Taylor & McLennan (1985)

## 6.5 Geoquímica de las rocas carbonatadas

### Introducción

Se analizaron 5 muestras de la Formación Novillo y 6 de la Formación Zuloaga para obtener su composición geoquímica (Tabla 6. 6) y su relación con minerales carbonatados, estimados a partir del cálculo de CaO\* (Ej. Calcita, Dolomita y Apatito).

**Tabla 6. 6** Composición química de las calizas con valores de elementos mayores (%m/m), trazas (ppm) para el área de estudio.

Muestra	NOVILLO -01	NOVILLO -02	NOVILLO -03	NOVILLO -04	NOVILLO -05	ZULOAGA -01	ZULOAGA -02	ZULOAGA -03	ZULOAGA -04	ZULOAGA -05	ZULOAGA -07
<i>Elementos Mayores</i>	<b>Formación Novillo</b>					<b>Formación Zuloaga</b>					
SiO <sub>2</sub>	10.94	12.6	6.96	5.88	4.53	1.18	5.74	2.67	2.85	1.26	5.22
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.14	0.07	0.06	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.57	2.76	1.39	1.26	0.37	0.29	0.5	0.41	0.5	0.28	0.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.95	0.95	0.77	0.65	0.41	0.07	0.35	0.46	0.12	0.04	0.27
CaO	45.36	43.98	49.36	50.1	51.43	54.37	51.4	51.83	53.09	54.45	43.52
MgO	0.64	0.76	0.55	0.45	0.36	0.13	0.43	1.39	0.35	0.2	7.4
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.18	0.08	0.05	0.02	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02
K <sub>2</sub> O	0.8	0.86	0.3	0.31	0.11	0.14	0.16	0.09	0.16	0.08	0.05
<b>LOI</b>	38	37.3	40	40.7	41.8	43.7	41.3	43	42.8	43.6	42.9
<b>Suma</b>	<b>99.46</b>	<b>99.53</b>	<b>99.48</b>	<b>99.46</b>	<b>99.05</b>	<b>99.9</b>	<b>99.91</b>	<b>99.91</b>	<b>99.91</b>	<b>99.93</b>	<b>99.76</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
MnO	0.37	0.33	0.36	0.37	0.3	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
CO <sub>2</sub>	39.09	35.7	40.11	40.52	42.02	43.34	40.92	43.56	42.39	43.63	42.97
<i>Elementos Trazas (ppm)</i>											
Ba	72	289	176	230	246	161	31	146	15	5	79
Hf	1.1	1.3	0.7	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Nb	1.4	1.8	0.6	0.7	0.1	0.1	0.3	0.1	0.5	0.1	0.2
Rb	20.1	24.3	8.5	9.5	2.4	1.9	3.9	2.2	3.8	2	1.8
Sr	279.4	299.4	311.3	260.4	445.9	115.8	288.6	347	401.1	161.5	467.6
Th	1.5	1.8	1	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Zr	36.9	49	24.3	16.8	5	2.8	6.1	5	5.2	4.1	5.5
Y	16.3	16.8	6.3	4.8	1.6	1.7	1.5	1.5	1	1.5	3

En general, las calizas analizadas muestran como componentes más abundantes al CaO y al CO<sub>2</sub>. El intervalo de concentración para CaO en la Formación Novillo es de 43-51% (promedio 48.02%; n=5) y para el CO<sub>2</sub> es de 35-42% (promedio 39.48%; n=5). En la Formación Zuloaga se presenta un ligero aumento en las concentraciones, teniendo un intervalo de 43-54% (promedio 51.4%; n=6) para el CaO y un intervalo de 40-43% (promedio; n=6) para el CO<sub>2</sub>. Los valores de SiO<sub>2</sub> se ajustan a intervalos bajos de 4-12% para la Formación Novillo y 1-5% para la Formación Zuloaga.

Por otro lado, las rocas muestran tiene bajas concentraciones en los elementos tales como MgO (0.2-7%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.5-2.7%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.07-0.9%), TiO<sub>2</sub> (0.01-0.14%), y relativamente muy bajo contenido en los elementos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.01-0.04%), K<sub>2</sub>O (0.08-0.13%) y Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.01-0.18%).

En relación con los elementos traza, la mayoría presentan concentraciones más altas en la Formación Novillo que en la Formación Zuloaga (Tabla 6.6), como es el caso del Ba, Rb, Y, Sr y Zr. Algunos elementos como es el caso del Sr y Ba acompañan al Ca, con algunos elementos mayores pueden acumularse en organismos y/o ser remplazados (Rankama & Sahama, 1962).

## 6.6 Diagramas bivariantes de relación elemental

Los diagramas bivariantes son muy importantes, debido a que tienen la ventaja de ser más sencillos de interpretar que los números en las tablas de geoquímica que, a primera vista, pueden ser difíciles de leer e interpretar. Gracias a estos diagramas se pueden observar con facilidad comportamientos y tendencias petrológicas que aporten información relevante en procesos sedimentarios (dolomitización, aporte clástico, cementación, etc.). Se utilizaron diagramas bivariantes para carbonatos y diagramas tipo Harker.

Basado en el cálculo de CaO\* para la utilización del CIA y los factores de conversión estequiométricos propuestos de Henrich & Hermann (1990) en el subcapítulo anterior, se estimó el contenido de carbonatos para las calizas del área de estudio (Tabla 6. 7; CaCO<sub>3</sub>, CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> y Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>). Para el cálculo del CIA en carbonatos no es muy recomendable ya que los valores de CaO se presentan en altas concentraciones por lo que tienden a presentarse y asociarse hacia el vértice del (CaO\*+Na<sub>2</sub>O) en el diagrama ternario de Nesbitt & Young (1982), por lo que no se consideró este diagrama para los carbonatos.

Los resultados de estos cálculos fueron graficados diagramas de relaciones entre carbonatos y óxidos para observar el tipo de arreglo y comportamiento que se tiene de estos componentes (Figura 6.12; Figura 6.13; Figura 6.14).

Se observa, que para todas las muestras el componente con mayor dominó es  $\text{CaCO}_3$ , teniendo un intervalo de (15-18%) en Formación Novillo y un ligero aumento para la Formación Zuloaga con valores de (17-19%), mientras que para el contenido de  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  y  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , se presentan en concentraciones relativamente bajas con valores  $< 1\%$  en ambos casos a excepción de una muestra (ZULOAGA-07) que presenta un valor de 1.6%.

**Tabla 6. 7:** Concentraciones estimadas para calcita, dolomita, apatito, estos valores fueron recalculadas a partir de valores  $\text{CaCO}_3$ /de conversión estequiometrica propuesta por Henrich & Hermann (1990).

Muestras- Estimaciones	NOVILLO -01	NOVILLO -02	NOVILLO -03	NOVILLO -04	NOVILLO -05	ZULOAGA -01	ZULOAGA -02	ZULOAGA -03	ZULOAGA -04	ZULOAGA -05	ZULOAGA -07
$\text{CaCO}_3$	17.188	15.697	17.636	17.817	18.476	19.057	17.993	19.153	18.639	19.184	18.894
$\text{CaO}_{(\text{cc})}$	7.541	6.887	7.738	7.817	8.106	8.361	7.894	8.403	8.177	8.417	8.289
$\text{CO}_2_{(\text{cc})}$	9.609	8.775	9.859	9.960	10.329	10.653	10.058	10.707	10.420	10.725	10.562
$\text{CO}_2_{(\text{do})}$	29.481	26.925	30.251	30.560	31.691	32.687	30.862	32.853	31.970	32.905	32.408
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	0.140	0.166	0.120	0.098	0.079	0.028	0.094	0.304	0.077	0.044	1.618
$\text{CaO}_{(\text{do})}$	0.005	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.003	0.009	0.002	0.001	0.041
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0.009	0.009	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.018
$\text{CaO}_{(\text{ap})}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

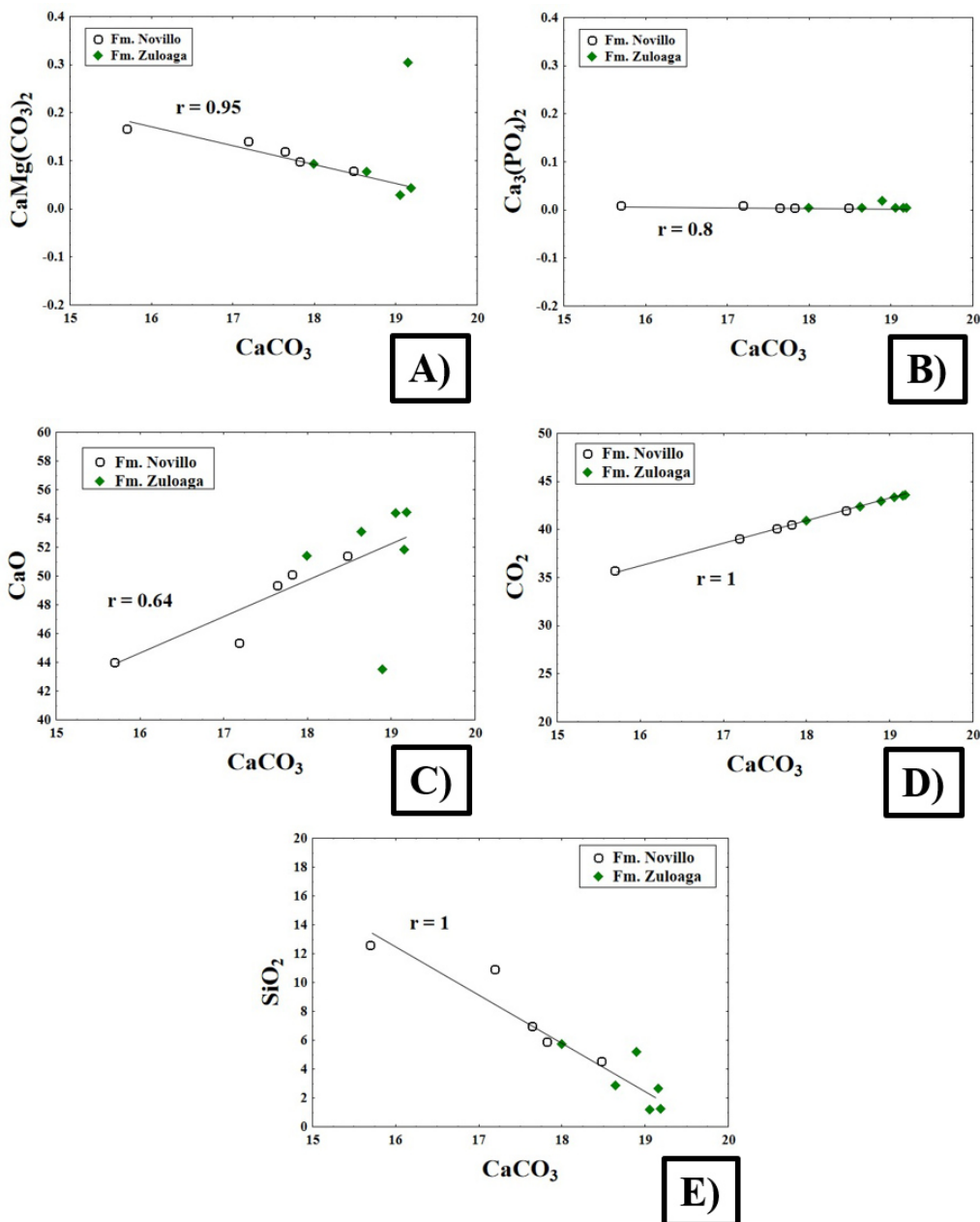
### 6.6.1 Diagramas de relación para carbonatos

En los diagramas bivariantes de relación para el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ; Figura 6. 12 A) se observa un pobre lineamiento negativo en las relaciones  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  presentandose la mayor concentración entre un intervalo de  $\text{CaCO}_3$  (17 -19%) y con un grado ligeramente mayor de dolomitización en la Formación Novillo a excepción de una muestra de la Formación Zuloaga que presenta alrededor de (0.3 % de dolomita)

Para los diagramas  $\text{CaCO}_3/\text{CO}_2$  y  $\text{CaCO}_3/\text{CaO}$  presentan un lineamiento de forma positiva marcada, que en base a esto el  $\text{CaCO}_3$  aumenta conforme aumenta los valores de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CaO}$  siendo la Formación Zuloaga la que mayor enriquecimiento presenta en comparación con la Formación Novillo.

Por otro lado, en el diagrama de  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$  se tiene una relación lineal negativa o empobrecimiento, lo que puede indicar que entre menos contenido de  $\text{SiO}_2$  se tenga, más abundante se

hace el  $\text{CaCO}_3$  y por tanto, más pura u homogénea sería la caliza o lo que sería contrario si aumenta el contenido de  $\text{SiO}_2$  disminuye el contenido de  $\text{CaCO}_3$ , por lo que la presencia de silicio podría dictaminar que la mayor concentración de componentes clásticos se presenten en la Formación Novillo y por consiguiente más heterogénea sin embargo, la Formación Zuloaga presenta un mayor contenido de carbonato de calcio.



**Figura 6. 12:** Graficas bivariantes para el  $\text{CaCO}_3$ , donde se presenta en relación con otros componentes y elementos A)  $\text{CaCO}_3/\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , B)  $\text{CaCO}_3/\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , C)  $\text{CaO}/\text{CaCO}_3$ , D)  $\text{CaCO}_3/\text{CO}_2$ , E)  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$ . Todos los valores se encuentran en % en peso. Donde  $r$  es el valor estimado del coeficiente de correlación.

En los diagramas bivariantes para el carbonato de calcio – magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), en la Figura 6.13) se observa bajas concentraciones  $<1\%$  ubicándose dentro de los rangos de 0.05-0.40. Se observa en la Figura 6.13 A, que la relación entre el  $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)/(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)$  se observa un patrón en las muestras muy parecidos, sin una influencia considerable o enriquecimiento de apatito.

De acuerdo con la relación en elementos mayores presentan distribuciones, con una tendencia parcialmente negativa o empobrecida en  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$  mientras que, positiva o enriquecida en  $\text{MgO}$  y  $\text{SiO}_2$ .

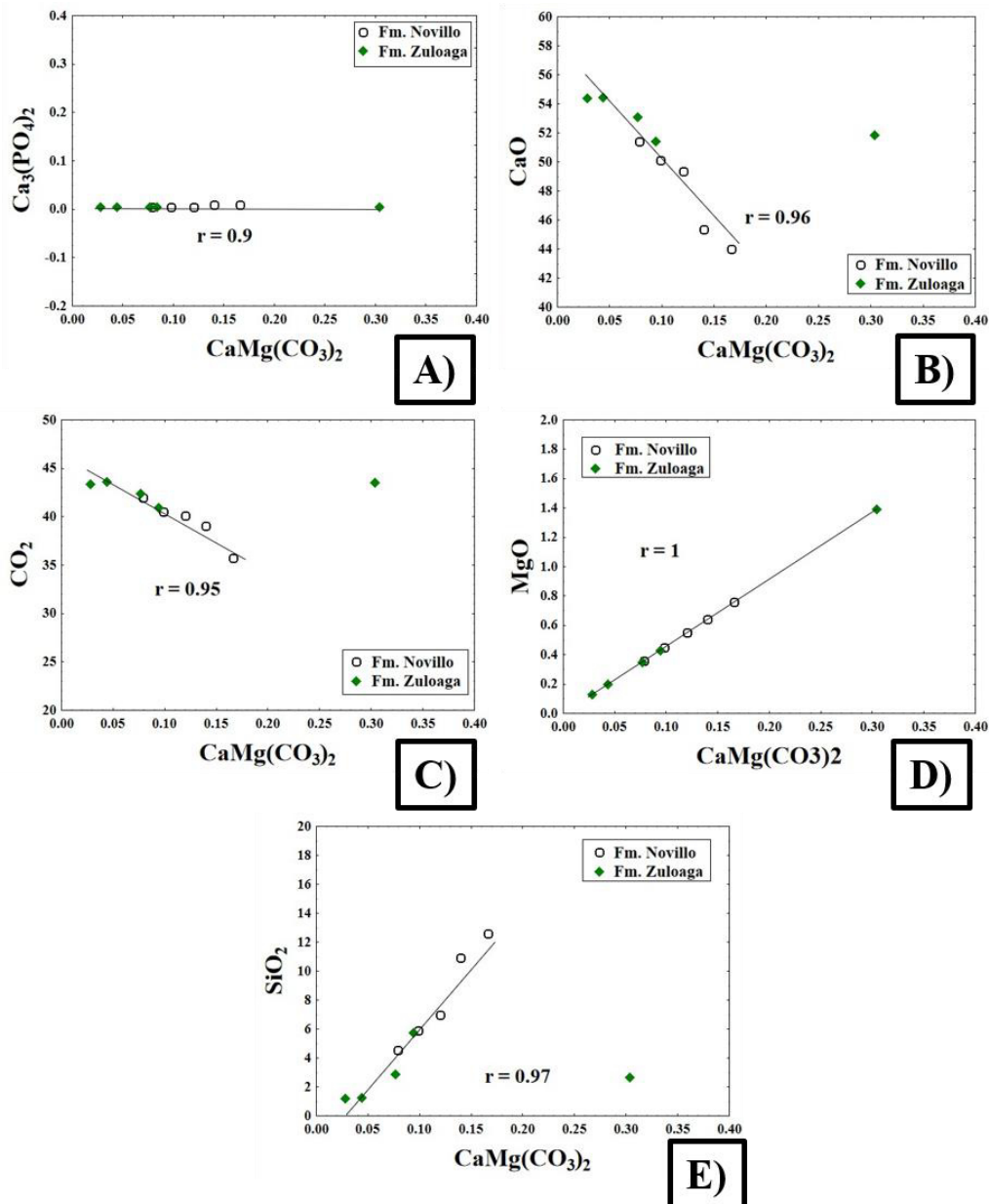
De acuerdo, con el diagrama de  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{CaO}$  (intervalos de concentración  $<0.4\%$  vs 49 - 54%) y de  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{CO}_2$  (intervalos de concentración  $<0.4\%$  vs 39-44%) pero con diferentes intervalos de concentración, con esta tendencia negativa hacia la dolomita lo que puede indicar, que entre más concentración de  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$ , pueda provocar la disminución en la concentración de  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  teniendo una mayor concentración en  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$  la Formación Zuloaga y empobreciéndose en la Formación Novillo.

Por otro lado, la relación  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{MgO}$  se muestra una tendencia marcada, reflejando un aumento en la concentración, conforme el  $\text{MgO}$  aumenta y teniendo la mayor concentración en la Formación Novillo a excepción de una muestra de la Formación Zuloaga (muestra ZULOAGA-07). Lo que puede indicar que las muestras de la Formación Novillo tienden a tener una ligera disminución en cuanto a los componentes calcáreos pero un enriquecimiento en  $\text{MgO}$ .

Asimismo, en la relación con el  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2/\text{SiO}_2$  presenta una distribución muy marcada (Figura 6.13 E) sugiriendo de igual manera que las rocas de la Formación Novillo tienden a ser más ricas en  $\text{SiO}_2$  o ya mencionado a tener una mayor influencia clástica que la Formación Zuloaga.

Para las concentraciones de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , debido a que son porcentajes relativamente muy bajos ( $<1\%$ ) no se tiene un claro reflejo o comportamiento lineal.





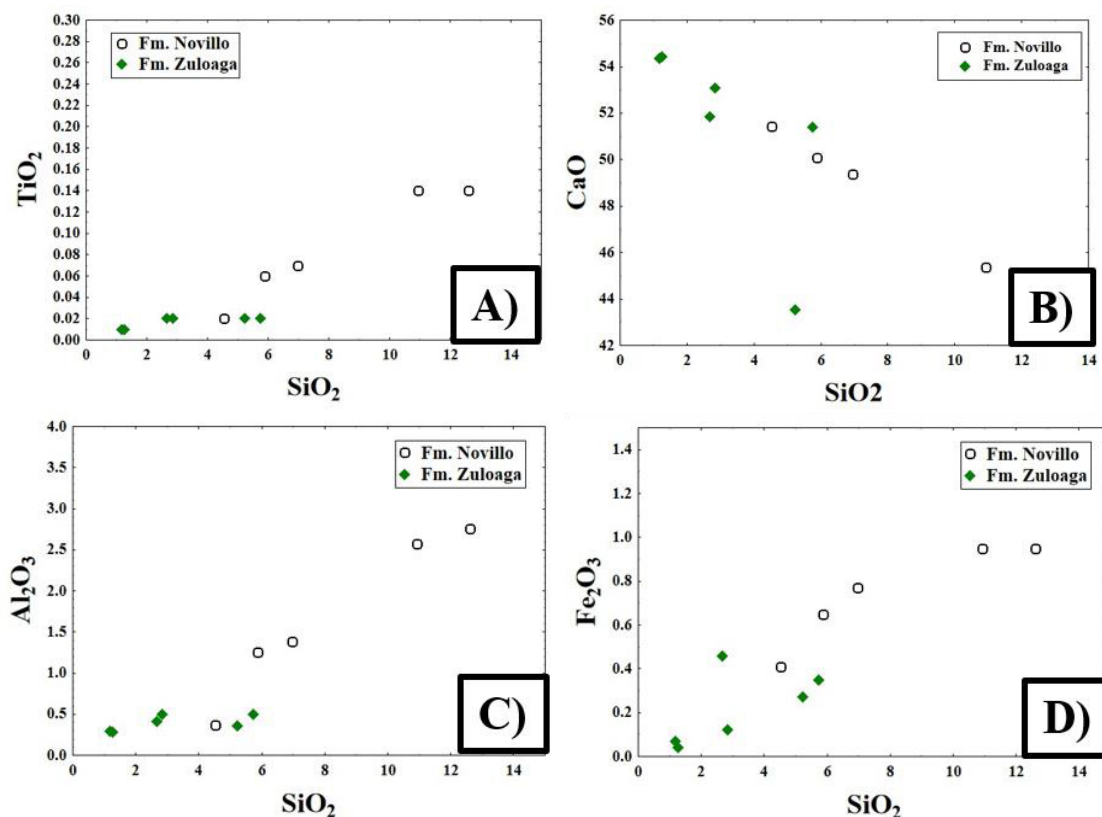
**Figura 6. 13:** Graficas bivariantes para el  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , donde se presenta en relación con otros componentes y elementos A)  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 / \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , B)  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 / \text{CaO}$ , D)  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 / \text{CO}_2$ , E)  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 / \text{SiO}_2$ . Todos los valores se encuentran en % en peso. Donde  $r$  es el valor estimado del coeficiente de correlación.

### 6.6.2 Diagramas Tipo Harker

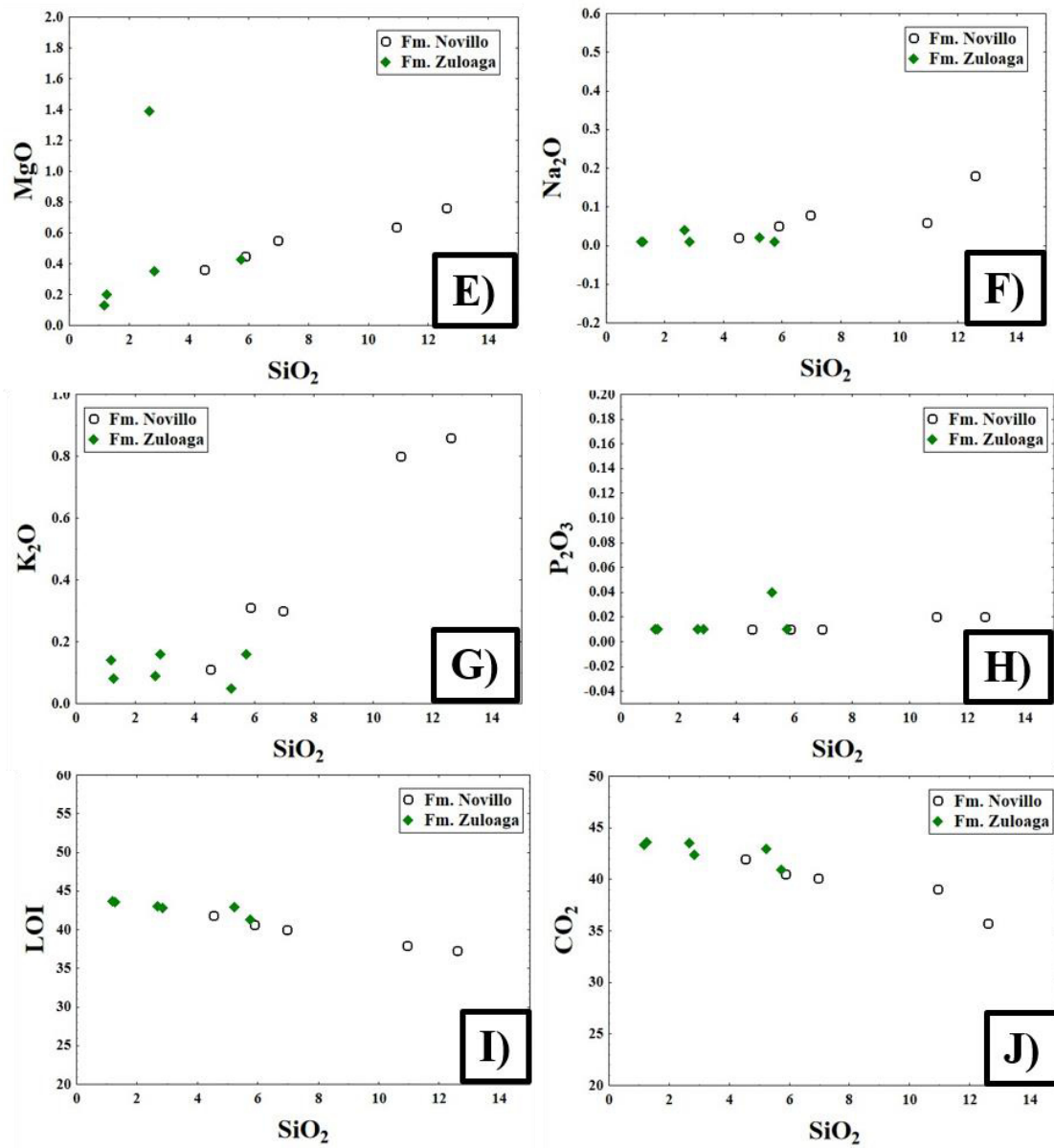
Los diagramas de Harker (Figura 6. 14) presentan algunos comportamientos y tendencias que son relevantes mencionar: Para las calizas de la Formación Novillo y Zuloaga, para el área de estudio presentan concentraciones enriquecidas en  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  y con patrones de empobrecimiento en  $CaO$ , como también se tienen patrones muy estrechos en el contenido de  $P_2O_3$ ,  $LOI$  y  $CO_2$ .

Para la Formación Novillo se comporta con un concentración más constante de  $SiO_2$  en relación con la Formación Zuloaga. También se encuentra empobrecido en  $CaO$ ,  $CO_2$ ,  $LOI$  pero enriquecido en  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ .

Para la Formación Zuloaga cuenta con un tendencia similar a la Formación Novillo, pero con rangos muy estrechos debido a que se encuentra en menores concentraciones, pero se logra observar que notablemente se enriquece en  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , y un ligero empobrecimiento en  $TiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  y  $CO_2$  y  $LOI$ .



Continuación



**Figura 6. 14:** Diagramas de variación multielemento SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LOI (*Loss on Ignition*) y CO<sub>2</sub>, tipo Harker, donde se presenta en relación de estos elementos, **A)** SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>, **B)** SiO<sub>2</sub>/CaO, **C)** SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y **D)** SiO<sub>2</sub>/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, **E)** SiO<sub>2</sub>/MgO, **F)** SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O, **G)** SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O, **H)** SiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, **I)** SiO<sub>2</sub>/LOI, **J)** SiO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. Todos los valores se encuentran en % en peso.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La localidad del Cerro La Cruz se encuentra dominada estratigráficamente por afloramientos del Grupo Huizachal, conformado en el área de trabajo, por las Formaciones La Boca y La Joya. Estas son sobreyacidas por el Grupo Zuloaga, que comprende las Formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga. Esto permite establecer que en la columna estratigráfica del área de trabajo, no es aplicable el modelo anteriormente propuesto, en el cual se establecía la presencia de un paquete vulcano-sedimentario denominado “pre-Huizachal”. La presencia de diversos niveles con areniscas y lutitas rojas llevó a autores anteriores a conclusiones erróneas. La estructura principal del área de tesis es el informalmente denominado anticlinal Cerro La Cruz, el cual presenta la particularidad de bifurcarse en su parte central.

Las unidades aflorantes son relacionadas principalmente a la apertura del Golfo de México durante el Jurásico, de acuerdo con la información que proporcionan los estudios realizados en las rocas clásticas (Formación La Boca, La Joya y Olvido) y las carbonatadas (Formación Novillo y Zuloaga).

Los estudios petrográficos realizados a las unidades clásticas indican un tamaño de grano medio a grueso con el incremento en la madurez conforme se asciende estratigráficamente. Las rocas son cuarzo feldespáticas con variaciones de *Grauwacas* > *litoarenitas* > *Arcosas*, teniendo como componentes a cuarzo monocristalino (Qmr, Qmo), policristalino (Qp<sub>2-3</sub> Qp<sub>>3</sub>), feldespato (K, P) y en menor medida fragmentos líticos (Lv, Ls, Ch), micas (Bt, Ms, Chl) y minerales densos (Zr). Estas características han permitido establecer el tipo de fuente con base a diagramas ternarios *QFL* un ambiente de tipo Basamento Elevado – Transicional continental. Estos ambientes hacen referencia a los altos que operaron para ese tiempo o posiblemente el Arco de Tamaulipas, Bloque Coahuila o el mismo alto de Aramberri de quien derivan posiblemente estos sedimentos.

La información geoquímica de rocas clásticas ha permitido la clasificación en *Grauwaca-Litoarenita* para la Formación La Boca y La Joya, mientras que la Formación Olvido se clasifica como *Arcosa*; se ha observado un índice de alteración (*CIA*) mayor en las Formaciones La Boca y La Joya (~ 28 - 69%), reduciéndose hacia la Formación Olvido (~ 33 - 60%), con áreas fuentes de composición riolítica (ácidas), andesítica (intermedia), con poco grado de transporte y patrones de *REE* que cuentan con un enriquecimiento de *LREE* y un empobrecimiento en *HREE*.

Las áreas fuentes son de un ambiente de margen pasivo, lo que confirma los datos petrográficos. El escenario al que se relaciona el tipo de fuente puede estar relacionado a la apertura del Golfo de México y sus altos de basamento (Figura 7.1).

Las variaciones marcadas por ciertas muestras que no siguen un patrón común en los diagramas contemplados, puede explicarse debido a la fraccionación de elementos, retrabajamiento de los sedimentos o incluso la presencia de las masas evaporíticas.

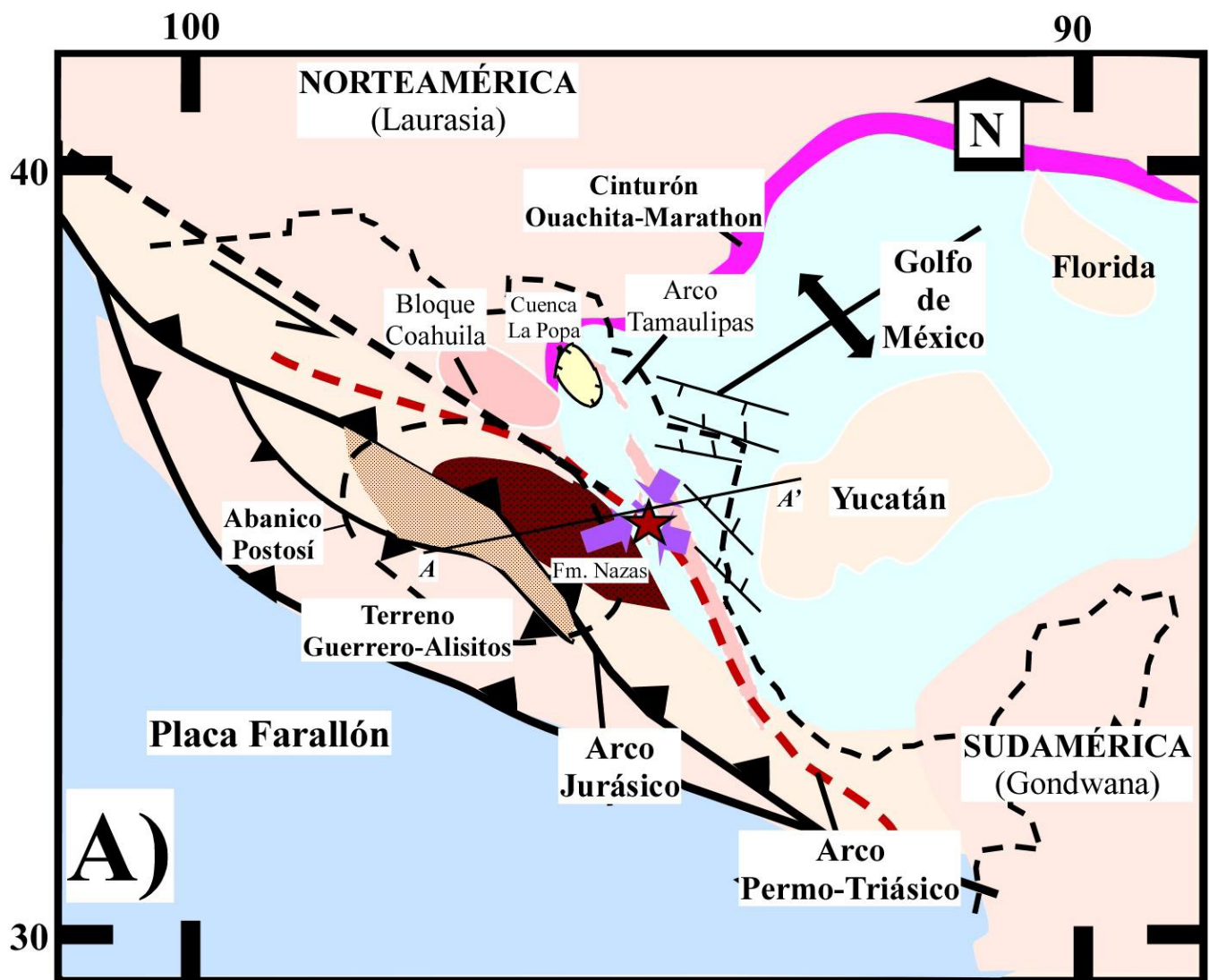
En base a la revisión de microfacies se determinó el contenido *aloquímico-ortoquímico* (micrita, esparita, ooides, miliólidos, gasterópodos, radiolarios y bioturbación) presente en las muestras carbonatadas de las Formaciones Novillo y Zuloaga, indicando que el tipo de ambiente para que puedan estar presentes estos organismos es un ambiente de plataforma restringida – abierta, someras o neríticas, con circulación de aguas tranquilas (micrita) a moderadas (esparita).

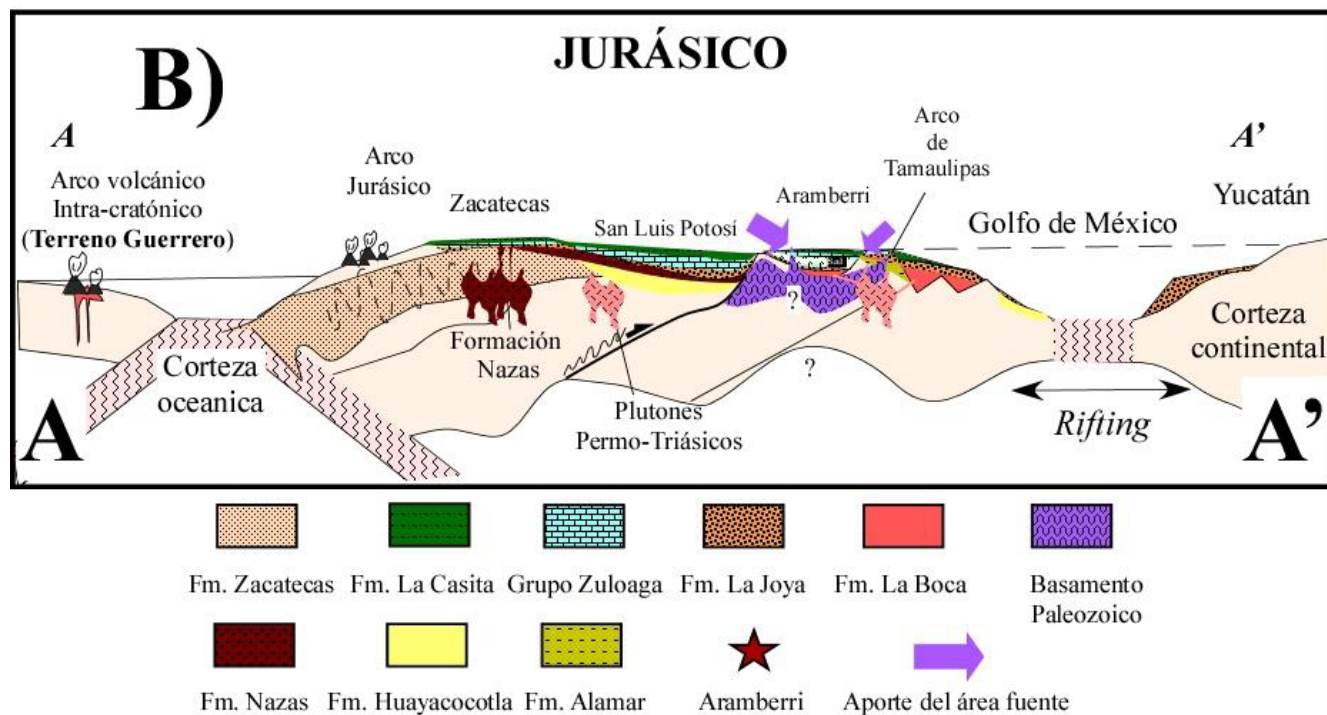
Por parte de la composición geoquímica para los carbonatos, indica que la Formación Novillo tiene una mayor influencia clástica en comparación con la Formación Zuloaga quien refleja una tendencia más calcárea, dominando asimismo, el carbonato de calcio como componente dominante y presentando un mejor comportamiento en los diagramas bivariantes.

El presente estudio ratificó la hipótesis sobre las rocas silisiclásticas y carbonatadas, dando resultado que las primeras son derivadas de una margen pasiva (por geoquímica) provenientes de altos de basamento (por petrografía) como se muestra en el modelo de la Figura 7.1, y que las rocas carbonatadas provienen de un ambiente deposicional somero. Además, se esclareció la estratigrafía del área, obteniendo una columna estratigráfica e información sobre los sedimentos clásticos y carbonatados depositados durante el Jurásico, que pueden ser para una perspectiva regional.

Se recomienda efectuar estudios enfatizados sobre los sedimentos clásticos respecto a la influencia que tiene con el basamento cristalino de Aramberri, así como la cantidad tentativa o grado de transporte asociados con las muestras. También, establecer una edad para los sedimentos de la Formación Olvido con base a estudios de geocronología, apoyado con geoquímica y minerales pesados.

Además, llevar a cabo un análisis estructural más detallado para delimitar y caracterizar el anticlinal Cerro La Cruz que se tiene en el área.





**Figura 7. 1 A)** Reconstrucción paleogeográfica en México durante el Jurásico donde se tiene las diferentes sistemas y estructuras que operaban para ese tiempo (sistemas activos- pasivos, altos de basamento, cuencas). Basado en el modelo de Barboza-Gudiño *et al.*, (2010). **B)** Se muestra el ambiente tectónico para el Jurásico teniendo para la parte oeste un margen continental activo denominado como Arco Jurásico mientras que para la la parte este se encuentra dominada por una margen pasiva relacionada a la apertura del Golfo de México. Se presentan asimismo las unidades que dominan durante el Jurásico. **Flechas moradas:** indican la posible área de aporte para la composición de los sedimentos que se tiene para el área de estudio, **Estrella roja:** indica el área de estudio, **N:** Norte.

## 8 REFERENCIAS

- Ahr, W. M. (1998): Carbonate ramps 1973 – 1996: an historical review – en: Wright, V. P. & Burchette, T. P. (ed), Carbonate Ramps. Geological Society, London, Special Publications, **149**: 7 – 14.
- Anderson, T. H. & Silver, L. T. (1974): The Role of the Mojave-Sonora Megashield in the Tectonic Evolution of Northern Sonora – en: Anderson, T. H. y Roldán-Quintana, J., (ed), Geology of Northern Sonora: Geol. Soc of Am., Field Trip 27 Guidebook, University of Pittsburgh, Pennsylvania: 59 – 69
- Anderson, T.H. & Schmidt, V.A. (1983): The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time. – Geological Society of America Bulletin, **94**: 941 – 966.
- 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.
- Arribas J. (2010): Análisis de la procedencia en depósitos arenosos, en: Arche A. (ed), Sedimentología Del proceso físico a la Cuenca sedimentaria – Consejo superior de investigaciones científicas, Madrid, España, 397 – 435.
- Baker, C. (1971): Geologic reconnaissance in the Eastern Cordillera of Mexico. – GSA Special Paper, **131**: 1 – 183.
- Barboza-Gudiño, J.R., Orozco-Esquivel, M.T., Gómez-Anguiano, M., & Zavala-Monsiváis, A. (2008): The Early Mesozoic volcanic arc of western North America in northeastern Mexico – Journal of South American Earth Sciences: **25**: 49 – 63
- 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 México. – Geofísica Internacional, **37**: 283 – 292.
- Barboza-Gudiño, J. R., Hoppe, Gómez – Anguiano, M., Martínez – Macías, 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, no. 3, **21**: 299 – 319.
- Barboza-Gudiño, J. R., Orozco – Esquivel, M. T., Gómez-Anguiano, M., Zavala Monsiváis, A. (2007): The Early Mesozoic volcanic arc of western North America in northeastern Mexico. – Journal of South American Earth Sciences.
- Barboza-Gudiño, J. R.; Zavala – Monsivais, A.; Venegas – Rodríguez, G. & Barajas – Nigoche, L.D. (2010): Late Triassic stratigraphy and facies from Northeastern Mexico Tectonic setting and provenance – Geosphere **6**, no. 5: 621 – 640.
- Barboza-Gudiño. J. R., Ramírez – Fernández J. A., Torres – Sánchez S. A., Valencia V. A. (2011): Geocronología de circones detríticos de diferentes localidades del Esquistos Granjeno en el noreste de México – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, **63**, no. 2: 201 – 216.
- Bartolini, C., Lang, H., & Stinnesbeck, W. (1999): Volcanic rock outcrops in Nuevo León, Tamaulipas and San Luis Potosí, Mexico: Remnants of the Permian-Early Triassic magmatic arc, en: Bartolini, C., Wilson, J.L., and Lawton, T.F. (ed.): Mesozoic Sedimentary and tectonic History of North – Central Mexico – Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, **340**: 388.



- Bartolini, C. & Mickus, K. (2002): Tectonic blocks, magmatic arcs, and oceanic terrains: A preliminary interpretation based on gravity, outcrop and surface data, north – central Mexico, en: Bartolini, C., Buffler, R., y Cantu – Chapa, A. (ed), Mesozoico and Cenozoic Evolution of the Western Gulf of Mexico Basin – Tectonics, Sedimentary Basins and Petroleum: Tulsa, OK., AAPG Memoir, **75**: 399 – 420.
- Bhatia, M.R., & Crook, K. A.W. (1983): Plate Tectonics of Geochemical Composition of Sandstone. – Journal of Geology, **91**: 611 – 627.
- Bhatia, M. R. (1985): Rare Earth Element Geochemistry of Australian Paleozoic Graywakes and Mudrocks: Provenance and Tectonic Control. – Sedimentary Geology, **45**: 97 – 113.
- Bhatia, M.R., & Crook, K. A. W. (1986): Trace element characteristics of graywakes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. – Mineral Petrology, **92**: 181 – 193.
- Buchy, M. C., Frey, E., Stinnesbeck, W. & Lopez – Oliva, J. G. (2003): First occurrence of a gigantic plesiosaur in the late Jurassic (Kimmeridgian) of Mexico. – Bulletin of Society Geological, **174**, no. 3: 271 – 278.
- Burckhard, C. (1906): Geologie de la Sierra de Mezapil et Santa Rosa en X Congreso Internacional – Guía de Excursiones, México, **26**.
- Burckhard, C. (1930): Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain – Mémoires de la Société Paléontologique Suisse, **49**: 280.
- Campa-Uranga, M.F., (1985): The Mexican Thrust Belt – en Howell, D.G. (ed), Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region: Circum-Pacific Council for Energy Mineral Resources, Earth Science Series, **1**:299 – 313.
- Campa-Uranga, M.F. & Coney, P.J. (1985): Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico. – Canadian Journal of Earth Science, **20**: 1040 – 1051.
- Carrillo-Bravo, J. (1961): Geología del Anticlinorio de Huizachal – Peregrina al noroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **13**: 1 – 98.
- Carrillo-Bravo, J. (1971): La Plataforma de Valles San Luis Potosí – Boletín de la Asociación Mexicana de Geología y del Petróleo, **23**, no. 1 – 6: 1 – 102.
- Carpenter, D. L. (1997): Tectonic history of the metamorphic basement rocks of the Sierra del Carmen, Coahuila – Mexico, Geological Society of America Bulletin, **109**, no. 10: 1321 – 1332.
- Centeno-García, E., Guerrero – Suastegui, M., & Talavera – Mendoza, O. (2008): The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra – subduction zone – en: Draut, A.E., Clift, B.D., and Scholl, D.W. (ed), Formation and applications of the sedimentary record in arc collision zones. – Geological Society of America, Special Paper **436**: 279 – 308.
- Charleston, S. (1994): Stratigraphy, tectonics and hydrocarbon potential of the Lower Cretaceous, Coahuila series, Coahuila, Mexico – Tesis Doctoral, University of Michigan: 1 – 268

- Charleston, S. (1981): A summary of the structural geology and tectonics of the State of Coahuila, Mexico, en: Schmidt, C. I., & Katz, S. B., (ed.): Lower cretaceous stratigraphy and structure, northern Mexico – West Texas Geological Society Field Trip Guidebook, publication, **81** – 74: 28 – 36.
- Chávez-Cabello, G. (2005): Deformación y Magmatismo Cenozoicos en la Cuenca de Sabinas, Coahuila, México. – Tesis Doctoral. Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, México: 1 – 200.
- Crook, K.A.W. (1974): Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variations in flysh arenites (greywackes) – en: Dott, R.H. & Shaver (ed.): Modern and ancient geosynclinal sedimentation. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 19: 304 – 310
- Cross, G. E. (2012): Evaporite deformation in the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico: Décollement kinematics in an evaporite-detached thin-skinned fold belt – Tesis Doctoral., The University of Texas at Austin: 575.
- Cruz-Gómez, E. M., Ramírez – Fernández, J. A., Velasco – Tapia, F. V., Rábago Tavares, R. O. (2006): Barita en el sur de Nuevo León su distribución y perspectivas – Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León., **9**, no. 3, 283 – 289.
- Cullers, R. L. (2000): The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies – Lithos, **51**: 181 – 203.
- Davis, M. H. (2005): The Tectonics of Tranquitas: A Field Study of Rift through Passive Margin Development and Laramide Deformation in Triassic and Jurassic Strata of the Sierra Madre Oriental, NE – Mexico. – University of Texas at Austin: 122.
- De León-Gómez, H. (1988): Geologische Kartierung (1:10, 000) des Gebietes El Porvenir am Ostrand des Aramberri Uplifts (Sierra Madre Oriental, Mexiko) – Diplomkartierung, Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Clausthal, Clausthal: 1 – 65.
- Denison, R.E., Kenny, G.S., Burke, W.H., & Hetherington, E.A. (1969): Isotopic ages of igneous and metamorphic boulders in the Haymond Formation (Pennsylvanian), Marathon Basin, Texas, and their significance – Geological Society of America Bulletin, **80**: 245 – 256.
- Díaz-González, T. (1959): Mesozoic stratigraphy and structure, Saltillo – Galeana areas, Coahuila and Nuevo Leon. S. Tx. Geol. Soc. Guidebook: 106.
- Dickinson, W. R. (1970): Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. – Journal of Sedimentary Petrology, **40**: 695-707.
- Dickinson, W. R. & Suczek, C.A. (1979): Plate tectonics and sandstone compositions. – AAPG Bulletin, **63**: 2164 – 2182.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. G., Inman, K. F., Kneep, R. A., Lindberg, F. A., & Ryberg, P. T. (1983): Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. – Geological Society of America Bulletin, **94**: 222 – 235.

- Dickinson, W. R., (1985): Provenance relations from detrital modes of sandstones – en G. G. Zuffa (ed.), Provenance of arenites – N.A.T.O A.S. I series, **148**: 333 – 362.
- Dickinson, W. R., & Lawton, T.E. (2001): Tectonic setting and sandstone petrofacies of the bisbee basin (USA-Mexico). – Journal of South American Earth Sciences, **14**: 475 – 504.
- Dunham, R. J., (1962): Classification of carbonate rocks according to their depositional texture, in W. E. Ham – American Association of Petroleum Geologists, ed., Classification of Carbonate Rocks, **1**: 108 – 121.
- Eguiluz, A. S., Aranda-García, M., Marrett, R. (2000): Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, **53**: 1 – 26.
- Eguiluz, A. S. (2001): Geologic Evolution and Gas Resources of the Sabinas Basin in Northeastern Mexico – en: Bartolini, C., Buffler, R. T. and Cantú-Chapa, A. (ed.), The Western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, Sedimentary Basins and Petroleum Systems. AAPG., **75**: 241 – 270.
- Embry, A. F., & Klovan J. E. (1971): A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T. – Bulletin of Canadian Petroleum Geology, **19**: 730 – 781.
- Fastovsky, D.E., Hermes, O.D., Strater, N.H., Bowring, S.A., Clark, J.M., Montellano, M. & Hernandez, R. (2005): Pre-Late Jurassic, fossil-bearing volcanic and sedimentary red beds of Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico – en: Anderson, T. H, Nourse, J. A., J. McKee J. W. & Steiner, M. B. (ed), The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives, Geological Society of America Boulder, Colorado, Special Paper: **393**: 401 – 426.
- Fastovsky, D. E., Hermes, O. D., Strater, N. H., Montellano, M., Hernandez, R. R., & Hopson, J. A., (1995): Depositional environments of a Middle Jurassic terrestrial vertebrate assemblage, Huizachal Canyon, Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, **15**: 561 – 575.
- Folk, R. L. (1974): Petrology of sedimentary rocks. – Hemphill, Austin, TX: 172.
- Feng, R. & Kerrisch, R. (1990): Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: Implications for provenance and tectonic setting – Geochemistry, Cosmochemistry Ac., **54**: 1061 – 1081.
- Fisher, R., Michalzik, D., Helm, C., (2007): Microhermal nodules of Renalcis – like calcimicrobes from Oxfordian Limestones of the Sierra Madre Oriental (Novillo Formation, Mexico) – Springer – Verlag: 10.
- Fillon, R. H. (2007): Mesozoic Gulf of Mexico basin evolution from a planetary perspective and petroleum system implications. – Petroleum Geoscience, **13**: 105 – 126.
- Flawn, F. T., & Maxwell, R. A. (1958): Metamorphic rocks of the Sierra del Carmen, Coahuila, Mexico: AAPG, **12**: 2245 – 2249.
- Flügel, E. (1982): Microfacies Analysis of Limestones – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York: 633
- Flügel, E. (2004): Microfacies of Carbonates Rocks: Analysis, Interpretation and application – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York: 976.

- Folk, R. L. (1962): Spectral Subdivision of limestone types – en: Ham, W. E. (ed), Classification of carbonate rocks – A symposium, American Association of Petroleum Geologist Mem, **1**: 62 – 84.
- Füchtbauer, H. (1988): Sandsteine – en: FÜCHTBAUER, H., (ed), Sediment Petrologie, Sediment und Sedimentgesteine, Schweizerbart, Stuttgart, **2**: 97 – 184;
- Gazzi, P. (1966): Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese; correlazioni con il Flysch di Monghidoro – Mineralogiez e Petrografica Acta, **12**: 69 – 97.
- Goldhammer, R.K., Lehmann, P.J., Todd, R.G., Wilson, J.L., Ward, W.C., & Johnson, C.R. (1991): Sequence stratigraphy and cyclostratigraphy of the Mesozoic of the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico, a field guidebook – Gulf Coast Section – Society for Sedimentary Geology: 85.
- Goldhammer, R.K. (1999): Mesozoic sequence stratigraphy and a paleogeographic evolution, northeast Mexico – Geological Society of America, Special Paper, **340**: 1 – 58.
- Goldhammer, R. K. & Wilson, J. L. (1999): Part 3 – Tectonic Development-In Stratigraphy and Structure of the Jurassic and Cretaceous Platform and Basin System of the Sierra Madre Oriental – Geological Society of America: 111 – 116.
- Goldhammer, R.K., & Johnson, C.A. (2001): Middle Jurassic-Upper Cretaceous paleogeographic evolution and sequence – stratigraphic framework of Northwest Gulf of Mexico rim. – en: Bartolini, C., Buffler, R.T. & Cantú Hapa, A. (ed.), The Western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, Sedimentary Basins and Petroleum Systems – AAPG Memoir, **75**: 45 – 81.
- Götte, M. (1986): Beiträge zur Faziesanalyse, Tektonik und Mineralisation der Huizachal – und Minas Viejas-Formation (Ob. Trias-Ob. Jura) im Raum Galeana (Sierra Madre Oriental/Mexiko). – Diplom Arbeit, TH – Darmstadt: 120.
- Götte, M. (1988): Estudio Geológico – estructural de Galeana, N. L (Mexico) y sus alrededores – Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L., **3**: 61 – 87.
- Götte, M. & Michalzik, D. (1992): Stratigraphic relations and facies sequences of an Upper Jurassic evaporitic ramp in the Sierra Madre Oriental (Mexico). – Zbl. Geol. Paläont. Teil I, **H.6**: 1445 – 1466.
- Grajales-Nishimura, J. M., Terrell, D. J., & Damon, P. E. (1992): Evidencias de la prolongación del arco magmático cordillerano del Triásico Tardío – Jurásico en Chihuahua, Durango y Coahuila – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **42**: 1 – 18.
- Heim, A. (1940): The front range of Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamanzuchale. – Ecologiae Geol. Helvetia, **33**: 313 – 362.
- Heinrichs, H. & Herrmann, A.G. (1990): Praktikum der Analytischen Geochemie – Springer, Lehrbuch, Berlin: 669.
- Herron, M. M. (1988): Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data – Journal of Sedimentary Research, **58**: 820 – 829.
- Humphrey, W. E. (1956): Tectonic framework of Northern Mexico, in Gulf Coast – Geological Society Transects, **6**: 25 – 35.

- Humphrey, W. E. & Díaz, T. E., Ms. (1956): Jurassic and Lower Cretaceous stratigraphy and tectonics of Northeastern Mexico: unpublished manuscript.
- Imlay, R. W. (1936): Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico; pte. 4, Geology of the western part of the Sierra de Parras – Geological Society of America Bulletin, **47**: 1091 – 1152.
- Imlay, R. W. (1937): Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico. Parras – Geological Society of America Bulletin, **48**: 587 – 630.
- Imlay, R. W. (1938): Studies of the Mexican Geosyncline – Geological Society of America Bulletin, **49**: 1651 – 1694.
- Imlay, R. W. (1943): Jurassic formations of Gulf región – Bulletin of the AAPG, **27**: 1407 – 1533.
- Imlay, R. W. (1953): Las formaciones jurásicas de México – Boletín de la Sociedad Geológica de México, **16**: 1 – 64.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, I.N.E.G.I (2005): Cuaderno Estadístico Municipal de Aramberri, Nuevo León, 2005.
- Jenchen, U. (2001): Facies und geochemie in kontinentalen Trias – Becken im westlichen Argentinien und in Patagonien – Tesis Doctoral: Münster, Universität Münster: 441.
- Jenchen, U. & Rosenfeld, U. (2002): Continental Triassic in Argentina: response to tectonic activity – Journal of South American Earth Sciences, **15**: 461 – 479.
- Jones, N. W., López, R., & Cameron, K. L. (1995): Linda Vista pluton and Latest Permian – Late Triassic orogeny, Las Delicias área, Coahuila, Mexico – Geological Society of America, abstract with programs, **27**, no. 6: 388.
- Jones, N.W., Mckee, J.W., Marquez D, B., Tovar, J., Long, L.E. & Laudon, T.S. (1984): The Mesozoic La Mula Island, Coahuila, Mexico – Geological Society of America Bulletin: **95**, 1226 – 1241.
- Kellum, L. B., Imlay, R. W., & Kane, W. K. (1936): Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico, Part 1, Relation of structure, stratigraphy and igneous activity to an early continental margin: Geological Society of America Bulletin, **47**: 969 – 1008.
- Keppie, J.D. (2004): Terranes of Mexico Revisited: A 1.3 Billion Year Odyssey. – Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México: 30.
- Larrabe (1982): Visita de reconocimiento previo a las áreas del proyecto cañón del Novillo, Tamps y Aramberri, N.L – Consejo de Recursos Minerales.
- Lawton, F. T., Vega Vera, F. J., Giles, A. K. & Rosales, D. M. C. (2001): Stratigraphy and Origin of the Popa Basin, Nuevo Leon, Mexico. – en: Bartolini C., Buffler R.T., Cantú – Chapa, A. (ed.), The Western Gul of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins and petroleum systems. – AAPG Memoir **75**, 219 – 240.
- López-Infanzon, M., (1986): Estudio petrogenético de las rocas ígneas en las formaciones Huizachal y Nazas – Sociedad Geológica Mexicana Boletín, **47**, no. 2: 1 – 42.

- Longoria, J. E. (1984): Stratigraphic Studies in the Jurassic of Northeastern Mexico: evidence for the origin of the Sabinas Basin – en: Ventress, W. P. S., Bebout, D. G., Perkins, B. F., Moore, C. H., (ed), The Jurassic of the Gulf Rim, GCSSEPM Foundation, Third Annual Research Conference Proceedings: 171 – 193.
- Longoria, J. E. (1985): Tectonic transpression in the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico: An alternative model – *Geol.*, **13**: 453 – 456.
- Mansilla-Teran M. (1988): Metamorphes Grundgebirge und Halotektonisch Gepragte Deckschichten im ruam Aramberri, Sierra Madre Oriental, Mexiko, Linares N.L.
- Marrett, R., & Aranda-García, M. (2001): Regional structure of the Sierra Madre Oriental fold – thrust belt, Mexico – en: Marrett, R. (ed.), Genesis and controls of reservoir – scale carbonate deformation, Monterrey Salient, Mexico: Austin, Texas, Bureau of Economic Geology Fieldtrip Guidebook 28: 31 – 56.
- McKee, J. W., Jones, N. W., & Anderson T. H. (1988): Las Delicias Basin: A record of late Paleozoic arc volcanism in northeastern Mexico – *Geology*, **16**: 37 – 40.
- McKee, Jones, N. W., & Long, L. E. (1990): Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, **102**, 593 – 614.
- McLennan, S. M. (1989): Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes – en: B.R. Lipin & M. G. A (ed), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth – Boulder*, Mineralogical Society of America, Colorado, *Reviews in Mineralogy* **21**: 169 – 200.
- McLennan, S. M., Hemmings, S., McDaniel, D. K., & Hanson, G. N. (1993): *Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics – Boulder*, Geological Society of America, Special Paper: 284.
- Meiburg, P. Chapa- Guerrero, J. R. Grotchusmann, I., Kusutsch, T. P., de León – Gómez, H., & Mansilla – Terán, M. A. (1987): El basamento pre-Cretácico de Aramberri-estructura clave para comprender el decollément 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 – 22.
- Michalzik, D. (1985): Stratigraphy and Paleogeography of the Northeastern Sierra Madre Oriental, Mexico (Triassic - Lowermost Cretaceous). – *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, H. 9/10*, 1161 – 1169.
- Michalzik, D. (1987): Sedimentación y Sucesión de Facies en un Margen Continental Pasivo del Triásico al Cretácico Temprano del Noreste de la Sierra Madre Oriental, México – *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L.*, **2**: 27 – 31.
- Michalzik, D. (1988): Trias bis tiefste Unter- Kreide der Nordostlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko – Fazielle Entwicklung einges passiven Kontinental randes – Tesis Doctoral, Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Alemania: 247.
- Michalzik, D. & Schumann, D. (1994): Lithofacies relationships and paleoecology of a late jurassicearly cretaceous fan delta to shelf depositional system in the Sierra Madre Oriental of northeast Mexico – *Sedimentology*, **41**, no. 3: 463 – 477

- Mixon, R.B., Murray, G.E., Díaz, G. (1959): Age and correlation of Huizachal Group (Mesozoic) state of Tamaulipas, Mexico – AAPG Bulletin, **43**: 757 – 771.
- Molina-Garza, R.S. (2005): Paleomagnetic reconstruction of Coahuila, Mexico: the Late Triassic Acatita intrusives – Geofísica Internacional, **44**: 197 – 210.
- Molina-Garza, R.S., Van der Voo, R., & Urrutia – Fucuguachi, J. (1992): Paleomagnetism of the Chiapas massif, southern Mexico: Evidence for rotation of the Maya block and implications for the opening of the Gulf of Mexico – Geological Society of America Bulletin, **104**: 1156 – 1168
- Morris, P.A. (1988): Volcanic arc reconstruction using discriminant function analysis of detrital clinopyroxene and amphibole from the New England Fold Belt, Eastern Australia – Journal of Geology, **96**: 299 – 312.
- Muir, J. M. (1936): Geology of the Tampico Region, Mexico. AAPG: 280.
- Mullerried, F. K. (1946): Geología del estado de Nuevo León – Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, **1**: 2.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 299: 715 – 717.
- Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1989): Formation and diagenesis of weathering profiles – Journal of Geology: **97**: 129 – 147.
- Nesbitt, H. W. (2003): Petrogenesis of siliciclastic and sedimentary rocks – en: D.R. Lentz (ed), Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: Evolutionary consideration to Mineral deposits – forming environments – Geological Association of Canada, New Fouland, Canada, GeoText **4**: 39-51.
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E. (2011): Implicaciones tectono – sedimentarias de las intercalaciones clásticas en el límite Jurásico-Cretácico del noreste de México (Fosa de Monterrey y Cuenca de Sabinas) – Tesis Doctoral – Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL., Linares, Nuevo León: 243.
- Ochoa, M., Arribas, M. E., Arribas, J. & Mas, R. (2007): Significance of geochemical signatures on provenance in intracratonic rift basins: Examples from the Iberian plate – en: Arribas, J., Critelli S. & Johnsson M. J (ed), Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry – Geological Society of America Tulsa, Oklahoma, Special Paper **420**: 199 – 219.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E. (1995): Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. – Geology, **23**: 1127 – 1130.
- Padilla y Sánchez, R. J. (1982): Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo y Monterrey, México – Tesis Doctoral – the University of Texas at Austin: 217.
- Padilla y Sánchez, R. J. (1985): Las estructuras de la Curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí – Universidad Nacional Autónoma de México. Inst. Geol., Revista, **6**.

- Padilla y Sánchez, R. J. (1986): Post Paleozoic tectonics of northeast Mexico and it's role in the evolution of the Gulf of Mexico – *Geofísica Internacional*, **25**: 157 – 206.
- Peterson, J.A. (2009): Geochemical Provenance of Clastic Sedimentary Rocks In The Western Cordillera: Utah, Colorado, Wyoming, And Oregon – Tesis de Maestría, Utah State University, Logan, Utha: 108.
- Pettijohn, F.J. (1963): Chemical composition of sandstones, excluding carbonate and volcanic sands: representative analyses – U.S. Geological Survey Professional Paper 400-S: 19.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., & Siever, R. (1987): Sand and Sandstone – Berlin, Springer – Verlag: 833.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX. (1988): Estratigrafía de la República Mexicana, Mesozoico – México, D. F., Subdirección de Producción Primaria, Coordinación ejecutiva de Exploración, Informe Inédito: 215.
- Pessagno, E. A. Jr. & Martin, Ch. (2003): Tectonostratigraphic evidence for the origin of the Gulf of Mexico, en: Bartinoli, C., Buffler, R. T., Blickwede, J., (ed). The Circum – Gulf of Mexico and The Caribbean: hidrocarbon hábitats, basin formation, and plate tectonics – AAPG Memoir, **70**: 76 – 74.
- Pindell, J. L. (1985): Alleghenian Reconstruction and Subsequent Evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas and Proto-Caribbean – *Tectonics*: **4**, 1 – 39.
- Pindell, J. & Dewey, J.F. (1982): Permo – Triassic Reconstruction of Western Pangea and the Evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean Region. – *Tectonics* **1**: 179 – 211.
- Pindell, J. & Kennan, L. (2002): Exploration Framework Atlas – Series: 4, Mexico and Gulf of Mexico: 1 – 47.
- Rankama, K. & Sahama, Th. (1962): Geoquímica – en: Aguilar S.A (ed.), Málaga, España: 862.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J. (1986): Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: A discussion – *The Journal of Geology*, **93**: 81 – 84.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J. (1988): Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data: *Chemical Geology*, **67**: 119 – 139.
- Rubio-Cisneros, I.I., & Ocampo – Diaz, Y. Z. E. (2010): Compositional analysis and sedimentary recycling evidences associated to unconformities in the northeastern Mexico, a Late Triassic – Early Cretaceous example – *Geological Society of America*, **42**: 70.
- Rubio-Cisneros, I.I., & Lawton, T.F. (2011): Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle de Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early – Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extensión – *Geosphere*, **7**: 159 – 170.
- Rubio-Cisneros, I.I., Ramírez-Fernández, J.A., & García – Obregón, R. (2011): Análisis preliminar de procedencia de rocas clásticas jurásicas del Valle de Huizachal, Sierra Madre Oriental: Influencia del vulcanismo sin – sedimentario y el basamento – *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, **63**:137 – 156.



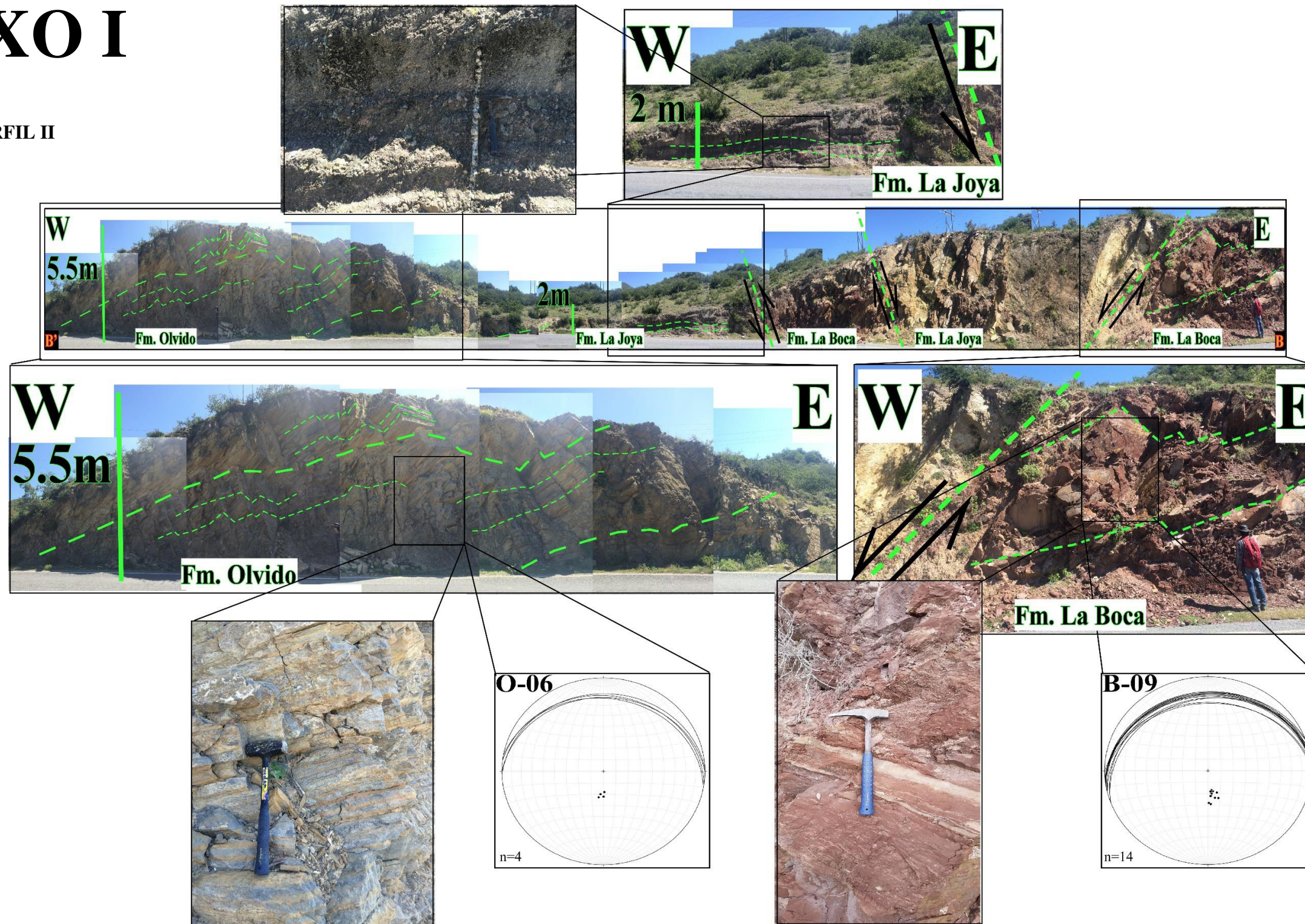
- Rubio-Cisneros, I.I. (2012): Análisis de Procedencia de las Formaciones El Almar, La Boca y La Joya, Noreste de México (Triásico Superior – Jurásico Medio) – Tesis Doctoral., Facultad de Ciencias de la tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León., 1 – 243.
- Rueda-Gaxiola, J., López – Ocampo, E., Dueñas, M.A., Rodríguez, J.L., & Torres – Rivero, A. (1999): Palynostratigraphical method: Basis for defining stratigraphy and age of the Los San Pedros allogroup, Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Mexico – en Bartolini, C., Wilson, J.L., and Lawton, T.F. (ed), Mesozoic Sedimentary and tectonic history of north – central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, **340**: 229 – 269.
- Sandstrom, M. (1982): Stratigraphy and Enviroments of Deposition of the Zuloaga Group, Victoria, Tamaulipas, Mexico – The University of Texas at Austin, 94 – 97.
- Salvador, A. (1991): Chapter 8, Triassic-Jurassic – en: Salvador, A. (ed), The Gulf of Mexico, D.F., Subdirección de Producción Primaria, Coordinación ejecutiva de Exploración, Informe inédito: 216.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R. C. (1993): Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México – Geological Society of America, Special Paper, **278**:153.
- SGM. (2010): Aramberri G14 – C87: Servicio Geológico Mexicano, escala 1:50,000.
- Spalletti, L.A. (1979): Paleoaambientes en Secuencias Silisiclasticas – IMPSEG – Facultad de Ciencias Naturales, UNLP – Carrera del Investigador CONICET – Buenos Aires: 175
- Suter, M. (1987): Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico – Geological Society of America Bulletin, **98**: 249 – 264.
- Tardy M., Longoria J., Martínez-Reyes, J., Mitra S., Patiño A., Padilla S. & Ramírez R. (1975): Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental: la Aloctonía del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central, entre Torreón Coahuila y San Luis Potosí, S. L. P., México – Revista del Instituto Geológico de la Universidad Nacional Autónoma de México, no. 1: 1 – 11.
- Tardy, M., Lapierre, H., Freydier, C., Coulon, C., Gill, J. B., Mercier de Lepinay, B., Beck, C., Martinez R., K., Talavera M., O., Ortiz H., E., Stein, G., Bourdier, J. L., & Yta, M. (1994): The Guerrero suspect terrane (western Mexico) and coeval arc terranes (the Greater Antilles and the Western Cordillera of Colombia): A late Mesozoic intra – oceanic arc accreted to North America during the Cretaceous. – Tectonophysics, **230**: 49 – 73.
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (1981): The composition and evolution of the continental crust: Rare Earth Element evidence from sedimentary rocks – Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, **A301**: 381 – 399.
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (1985): The continental crust: its composition and evolution – Oxford, Blackwell: 312.
- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P. J., & Garjales, J. M. (1999): A Permo – Triassic continental arc in Eastern Mexico: Tectonic implications of reconstruction of southern North America – en: Bartolini, C., Wilson, J. L., & Lawton, T. F., (ed),

- 
- Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North – Central Mexico – Boulder, Colorado, Geological Society of North America, Special Paper, **340**: 1 – 58.
- Torres-Sánchez, S., A. (2010): Petrología E Interpretación Geodinámica Del Esquisto Granjeno En El Cañón De Caballeros, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, NE De México. – Tesis de Licenciatura., Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL., Linares, Nuevo León.: 1 – 211.
- Torres-Sánchez, S., A. (2015): Implicaciones Geodinámicas del Complejo Metamórfico Paleozoico de la Sierra Madre Oriental en el Noreste de México – Tesis Doctoral., Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León.: 1 – 263.
- Weber, R. (1997): How old is the Triassic flora of Sonora and Tamaulipas and news on Leonardian floras in Puebla and Hidalgo, México – Revista Mexicana De Ciencias Geologicas, **14**: 225 – 243.
- Wilson, N. J. L. (1975): Carbonate Facies in Geologic History – Springer, Verlag, Berlin: 471.
- Wilson, J. R., Ward, W. C., & Finneran, J. (1984): A field guide to Upper Jurassic and Lower Cretaceous carbonate platform and basin systems, Monterrey – Saltillo area, northeast Mexico, Gulf Coast section – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists: 76.
- Wilson N, J. L. (1990): Basement controls on Mesozoic carbonates facies in northeastern Mexico, a review. Contribuciones al Cretácico de México y América Central – Actas Facultad de ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, **4**, 5 – 45

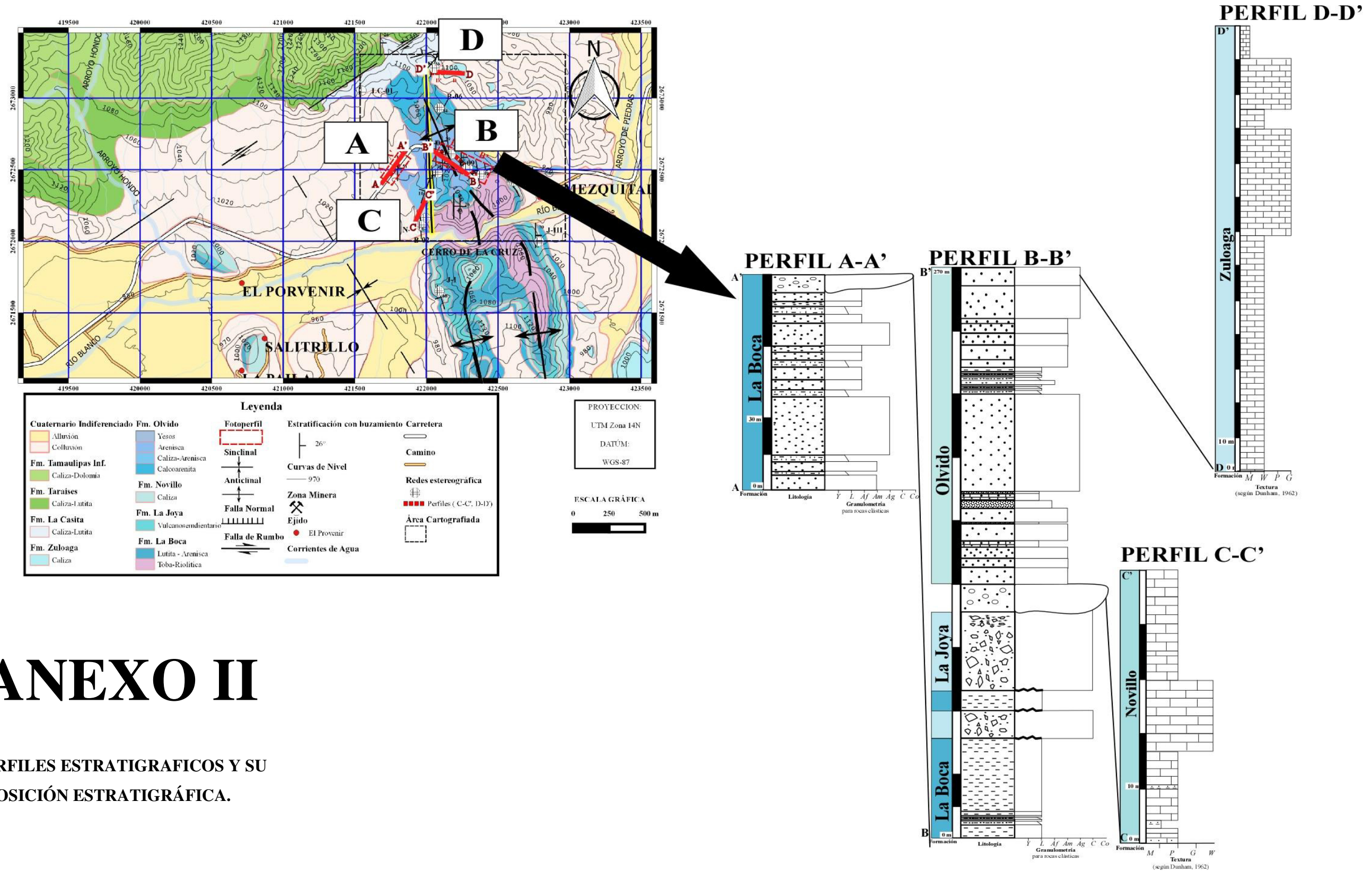
# ANEXOS

# ANEXO I

## FOTOPERFIL II



Anexos I. 1: Fotoperfil II en corte en carretera donde se encuentra en contacto las Formaciones La Boca, La Joya y Olvido

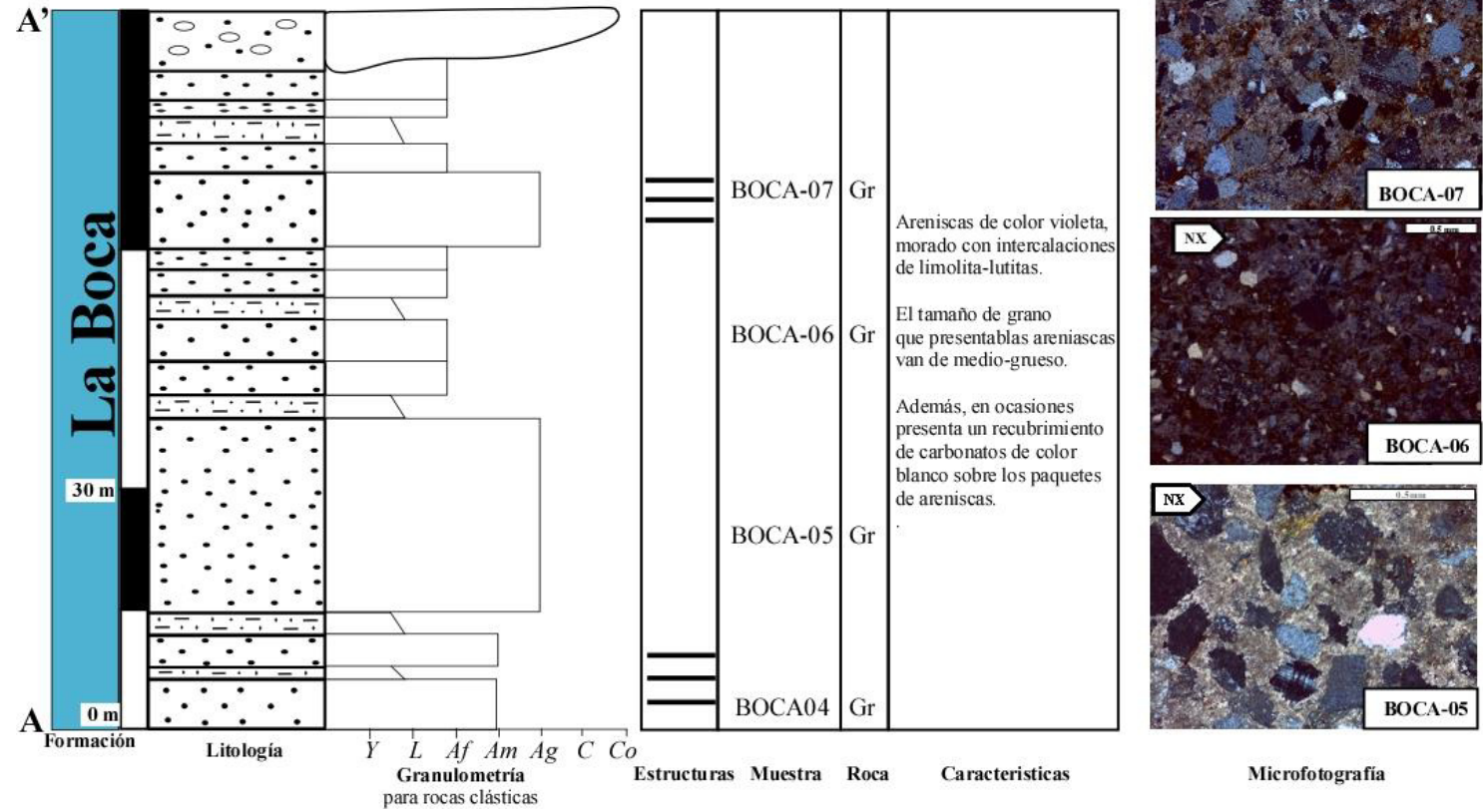


# ANEXO II

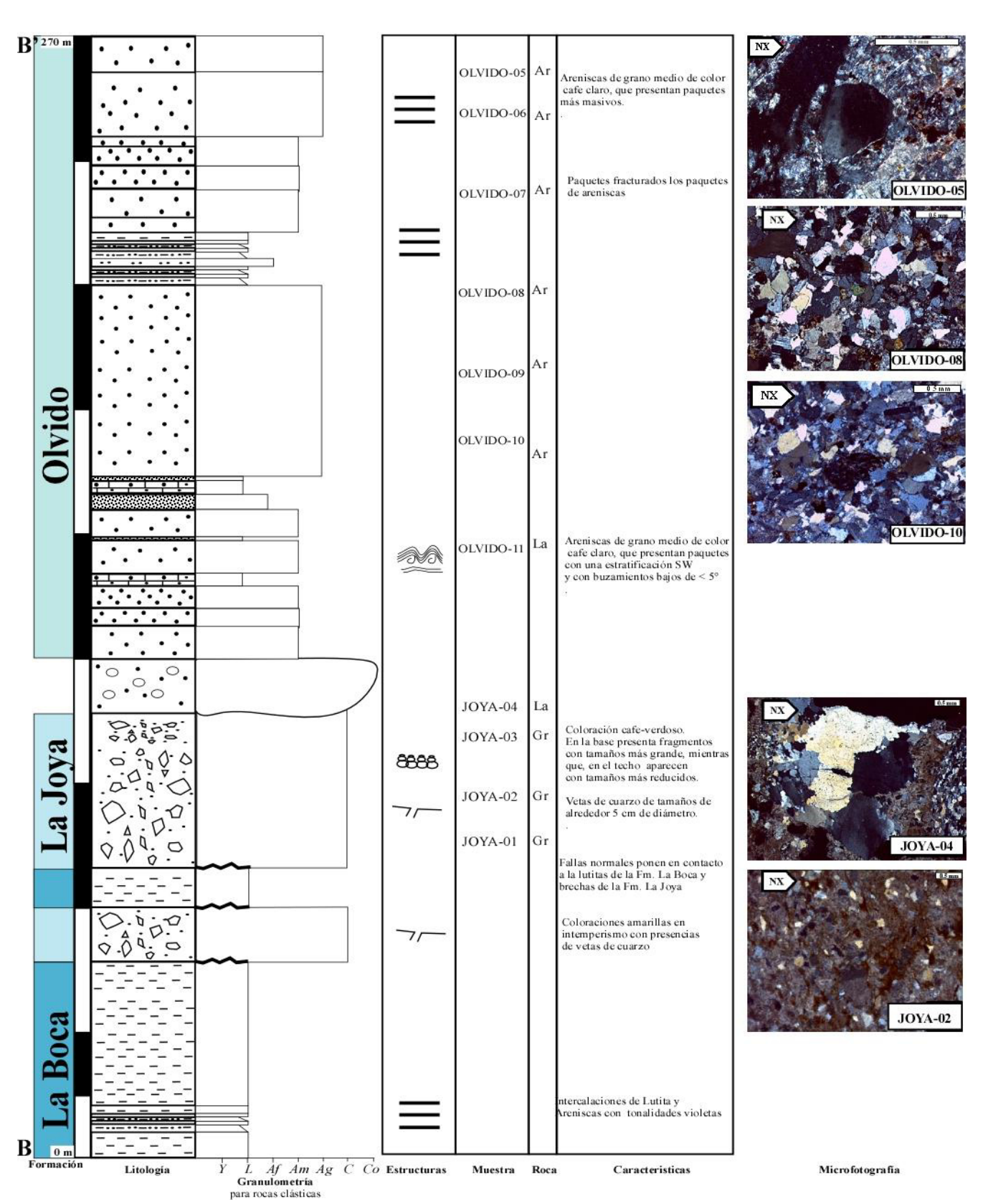
## PERFILES ESTRATIGRAFICOS Y SU POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA.

Anexos II. 1 Ubicación de los perfiles A, B, C y D y posición estratigráfica.

# PERFIL A-A'

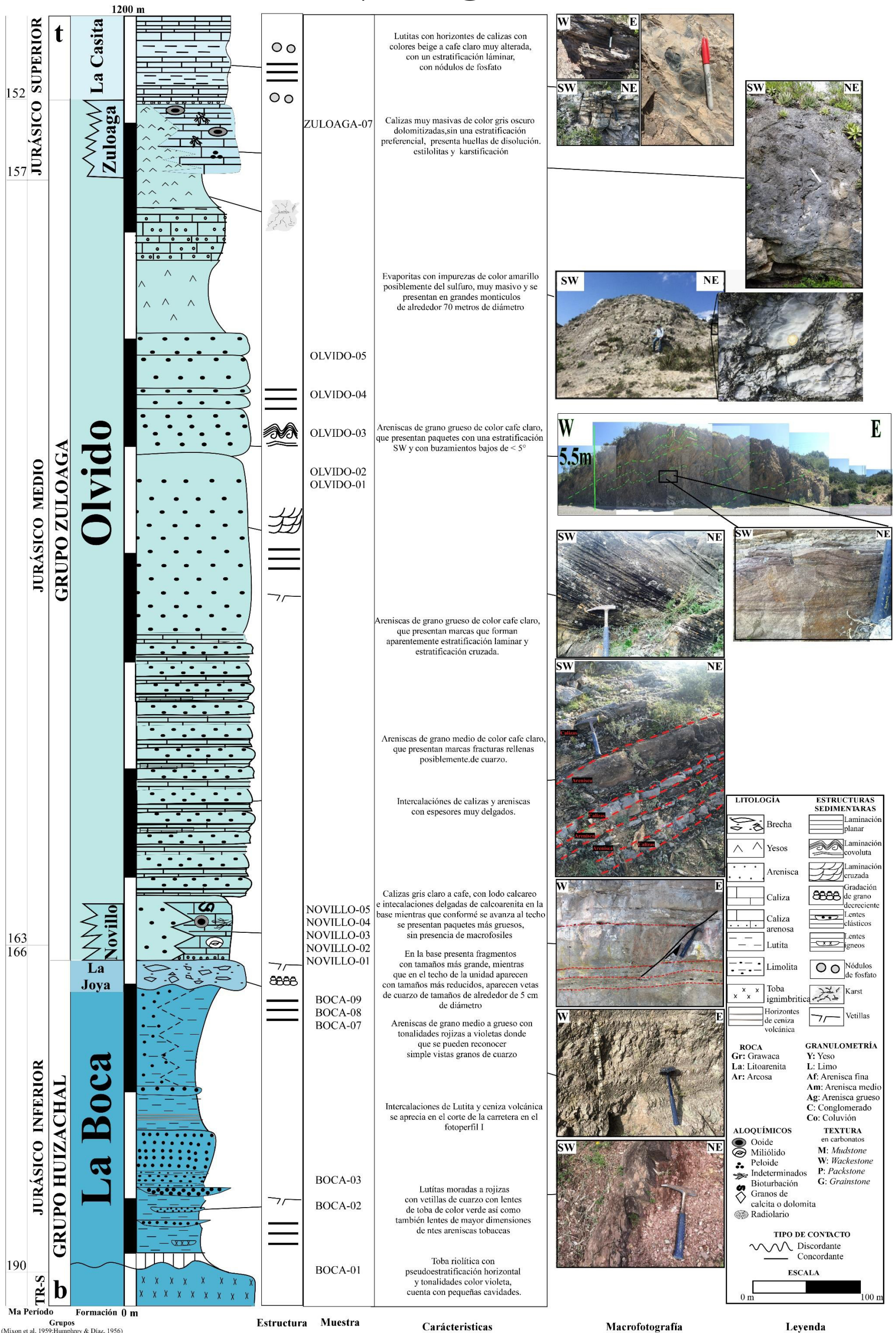


# PERFIL B-B'





# ANEXO III



Anexos III. 1: Columna estratigráfica para el área de estudio.



# ANEXO IV

## TABLA DE DATOS ESTRUCTURALES

DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave	DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave
N	Rumbo	Buzamiento	421966	2672110	Boca	B-02	N	Rumbo	Buzamiento	422062	2671615	Joya	J-I						
1	177	67					1	163	68										
2	160	55					2	166	70										
3	165	57					3	155	72										
4	175	60					4	165	71										
5	174	53					5	166	69										
6	172	63					6	165	70										
7	173	65																	
8	180	66																	
9	179	67																	
10	168	67																	
DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave	DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave
N	Rumbo	Buzamiento	422386	2672467	Boca	B-09	N	Rumbo	Buzamiento	422610	2672420	Joya	J-II						
1	262	19					1	330	55										
2	266	29					2	320	52										
3	264	20					3	333	57										
4	258	18					4	332	50										
5	261	17																	
6	251	25																	
7	263	21																	
8	263	28																	
9	250	20																	
10	257	24																	
11	264	18																	
12	265	22																	
13	262	20																	
14	269	28																	
DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave	DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave
N	Rumbo	Buzamiento	422091	2672932	Boca	B-06	N	Rumbo	Buzamiento	422289	2672512	Olvido	O-13						
1	210	34					1	253	2										
2	220	33					2	255	4										
3	215	29					3	250	3										
4	212	30					4	260	8										
							5	257	4										
							6	259	6										
							7	254	9										
							8	257	2										
							9	253	2										
							10	261	6										
							11	254	2										
							12	251	2										
DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave	DATOS DE ESTRATIFICACIÓN						Longitud	Latitud	Formación	Clave
N	Rumbo	Buzamiento	422079	2672478	Transición N-O	T-03	N	Rumbo	Buzamiento	422172	2672608	Olvido	O-06						
1	264	5					1	280	23										
2	262	6					2	268	18										
3	263	6					3	277	20										
4	263	7					4	270	22										
5	264	6																	
6	259	8																	
7	262	5																	
8	260	7																	
9	270	10																	
10	266	4																	
11	265	9																	
12	269	10																	

Anexo IV. 1: Tabla de los datos medidos de estratificación para el área del Cerro La Cruz, Aramberri, Nuevo León.

