

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

**GENERALIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE LAS  
SECUENCIAS PALEOZOICAS DE  
PLATAFORMA Y DE CUENCA: CON ÉNFASIS  
EN LA FORMACIÓN MINA MÉXICO EN  
SONORA CENTRAL.**

**TESIS**

**TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE GEÓLOGO**



**PRESENTA:  
EULALIO DE JESÚS HERNÁNDEZ GRACIA**

**Hermosillo, Son. a 24 de Junio de 2011**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



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



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10  
FAX 259 21 11

21 de Junio de 2011

M.C. SAUL HERRERA URBINA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
P R E S E N T E

Por este conducto, me permito someter a su consideración el siguiente tema de tesis:

**“GENERALIDADES ESTRATIGRAFICAS DE LAS SECUENCIAS  
PALEOZOICAS DE PLATAFORMA Y DE CUENCA: CON ENFASIS EN LA  
FORMACION MINA MEXICO, SONORA CENTRAL”**

Esto con el fin de que el Pasante de Geólogo:

**Eulalio de Jesús Hernández Gracia**

pueda presentar su examen profesional para la obtención de su título

Sin otro particular, reciba mis mejores consideraciones

ATENTAMENTE

M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ

Director de Tesis



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo  
C.c.p. Interesado



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA

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

TEL. (662) 259 21 10  
FAX 259 21 11

21 de Junio de 2011

**M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ**  
Director de Tesis  
Presente

Por este conducto, le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por usted, intitulado:

**“GENERALIDADES ESTRATIGRAFICAS DE LAS SECUENCIAS  
PALEOZOICAS DE PLATAFORMA Y DE CUENCA: CON ENFASIS EN LA  
FORMACION MINA MEXICO, SONORA CENTRAL”**

Esto con el fin de que el Pasante de Geólogo:

**Eulalio de Jesús Hernández Gracia**

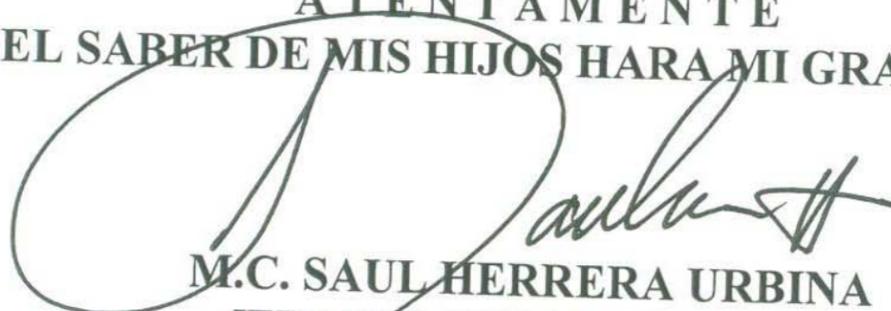
Pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su Título profesional; asimismo, le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

**M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA**  
**DRA. OLIVIA PEREZ RAMOS**  
**M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ**

**PRESIDENTE**  
**SECRETARIO**  
**VOCAL**

Sin otro particular, quedo de usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”**

  
**M.C. SAUL HERRERA URBINA**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO**



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo  
C.c.p. Interesado



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10

FAX 259 21 11

NOMBRE DE LA TESIS:

## "GENERALIDADES ESTRATIGRAFICAS DE LAS SECUENCIAS PALEOZOICAS DE PLATAFORMA Y DE CUENCA: CON ENFASIS EN LA FORMACION MINA MEXICO, SONORA CENTRAL"

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

### EULALIO DE JESUS HERNANDEZ GRACIA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

*Olivia Pérez Ramos*  
DRA. OLIVIA PEREZ RAMOS

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

*Ricardo Amaya Martínez*  
M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ

ATENTAMENTE  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

*Saul Herrera Urbina*  
M.C. SAUL HERRERA URBINA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo.

## **DEDICATORIA**

**A DIOS:** Gracias a Dios por darme salud y por todo lo que me ha dado en esta vida.

**A MI MADRE:** Gracias por darme la vida, educación, estudio, un hogar donde vivir y por inculcarme los mejores principios. Gracias por tus desvelos, por tus cuidados y por tus consejos. Gracias por ser mi madre, gracias por todo lo que me enseñaste... GRACIAS MAMÁ.

**A MYRNA CHIN:** Gracias por compartir estos años de tu vida a mi lado y por enseñarme a ser un mejor ser humano...GRACIAS.Y por la ayuda en la realización y digitalización de imágenes y planos de esta tesis.

**A MIS HERMANOS:** Por su apoyo moral y comprensión en todo momento y por las experiencias que vivimos juntos como Familia.

**A MIS AMIGOS:** Mi admiración y gratitud por lo que hemos vivido.

## AGRADECIMIENTOS

AL **M.C. RICARDO AMAYA MARTÍNEZ**, POR SUS ACERTADOS COMENTARIOS, CORRECCIONES Y ASESORÍA EN EL TRABAJO DE CAMPO, ADEMÁS DE LA DIRECCIÓN DE ESTA TESIS.

A LA **DRA. OLIVIA PEREZ RAMOS**, POR LA REVISIÓN, SUGERENCIAS Y COMENTARIOS DEL TEXTO DE ESTA TESIS.

AL **M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA** POR LA REVISIÓN, SUGERENCIAS Y COMENTARIOS DEL TEXTO DE ESTA TESIS.

AL **ING. MIGUEL J. OROZCO FARARONI** DIRECTOR GENERAL DE COMPAÑÍA MINERA CONDOR POR LAS FACILIDADES Y EL APOYO BRINDADO PARA LA ELABORACIÓN DE ESTA TESIS.

AL **ING. ANGEL FORT MARTÍNEZ**, ENCARGADO DE LA MINA BARITA DE SONORA, S.A. POR LAS FACILIDADES BRINDADAS EN EL USO DE LAS INSTALACIONES DE LA MINA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

A **FORREST "BARNEY" POOLE**, DEL U.S.G., DENVER.CO. POR SUS COMENTARIOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

Y A TODAS LAS PERSONAS QUE ME BRINDARON SU APOYO Y QUE DIRECTA O INDIRECTAMENTE INTERVINIERON PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

## RESUMEN

Las rocas paleozoicas en la porción centro-oriental de Sonora están representadas por dos principales secuencias que contrastan por su litología y las condiciones en su ambiente de depósito. La primera corresponde a potentes estratos carbonatados, con menor proporción de niveles clásticos, que fueron depositados en un ambiente marino caracterizado por amplias plataformas continentales de profundidad somera y aguas templadas, referidos en la literatura estratigráfica como secuencias *miogeoclinales* o *plataforma carbonatada*. La otra, por estratos siliciclásticos, con algunos niveles calcáreos de espesor y continuidad irregular, que también fueron depositados en ambientes marinos, pero en este caso, sobre cuencas marinas de mayor profundidad, particularmente sobre el talud continental y que son referidas por algunos investigadores como *secuencias eugeoclinales* o *cuerpos paleozoicos alóctonos*.

Estos afloramientos paleozoicos de plataforma han sido reportados y estudiados en varias localidades en Sonora central (Sierra de López, rancho Placeritos, sierra Santa Teresa, rancho Las Norias, cerro Las Rastras, Sierra Martínez, porción sur de Bacanora, etc.), manifestándose en superficie actualmente como porciones truncadas y aisladas; sin embargo, la integración de estas representa la casi totalidad de los periodos del Paleozoico, desde el Cámbrico hasta el Pérmico.

Las secuencias eugeoclinales, con edades similares (Ordovícico-Pérmico), afloran en los alrededores de La Colorada y Cobachi hasta la porción sur-sureste de Bacanora y las porciones norte y noroeste de Tónichi. Este paleozoico alóctono se caracteriza, al menos en la región de Mazatán, por contener cuerpos estratiformes de barita, de espesor y longitud irregular, cuyo origen se asocia con la actividad de chimeneas o ventilas hidrotermales que aportaron las cantidades de bario necesario para depositarse como barita; existiendo la alternativa de su origen asociado con procesos exhalativos.

La orogenia Ouachita-Marathon-Sonora (OMS) es un cinturón de aproximadamente 3000 km de largo, conformado por un conjunto de afloramientos de rocas paleozoicas deformadas que constituyen el margen meridional (sur) del Cratón de Laurentia (Norteamérica), extendiéndose desde Arkansas (Ouachita), continuando hacia el suroeste a través de Texas (Marathon) y hacia el oeste a través de Chihuahua y Sonora. Este sistema orogénico formado durante el Paleozoico Tardío fue un evento de subducción y colisión. La estratigrafía regional y las relaciones estructurales indican una continuidad original física del cinturón Orogénico Ouachita-Marathon-Sonora a lo largo de todo el margen suroeste de Laurentia.

En este cinturón orogénico los sedimentos de cuenca, fuertemente deformados y plegados, se encuentran cabalgando hacia el continente a los sedimentos de Laurentia. Lo mismo es observado en Sonora, donde los sedimentos de cuenca profunda se encuentran cabalgando a una secuencia de sedimentos siliciclásticos y turbidíticos, representados por estratos decimétricos y métricos de arenisca de cuarzo de granulometría fina a muy fina, con intercalaciones de niveles de calcarenitas o grainstone bioclásticos, que contienen fósiles derivados de los estratos paleozoicos de la plataforma carbonatada.

Esta secuencia siliciclástica de tipo flysch, referida informalmente como formación Mina México, ha sido depositada en cuencas o depresiones alargadas de tipo "foredeep" orientadas sensiblemente este-oeste, fueron desarrolladas sobre los estratos pérmicos miogeoclinales a consecuencia de inflexiones de la corteza y carga litostática, producto de la colisión entre Gondwana y Laurentia, durante el Pérmico Temprano-Medio.

Los cabalgamientos iniciaron en el Devónico en el noreste de los Estados Unidos y concluyeron al final del Paleozoico (Pérmico Superior) y probablemente al principio del Mesozoico (Triásico Inferior) en Sonora. La deformación en la orogenia OMS comienza en el Misisípico en los tres sectores y termina en el Pensilvánico Superior en las Montañas de Ouachita, Pérmico Inferior en la región de Marathon, y en el Pérmico Superior en Sonora. La rotación de Suramérica, en sentido de las agujas del reloj, durante la colisión oblicua con Norteamérica es correlacionable con la actividad diacrónica que es más joven hacia el oeste en la última etapa del evento orogénico, por ejemplo el Pensilvánico Superior en las Montañas Ouachita, el Pérmico Superior en la región de Marathon y el Pérmico Superior en Sonora (Poole et al., 2005).

Uno de los principales objetivos de esta tesis, entre otros, es el de analizar, detallar y discutir acerca de las relaciones estratigráficas y tectónicas entre las secuencias de plataforma carbonatada y las de cuenca oceánica, haciendo énfasis en el ambiente de deposición y la edad de los estratos siliciclásticos y turbidíticos de arenisca de cuarzo (tipo flysch) de grano fino de la formación Mina México y su interrelación de estos con las secuencias paleozoicas antes mencionadas. La información generada, en varias áreas donde se reporta la presencia de secuencias paleozoicas similares, ha permitido actualmente reinterpretar estas relaciones y se ha propuesto considerar que los estratos siliciclásticos de la formación Mina México se depositan, de manera transicional y concordante, sobre las calizas pérmicas de plataforma y que a su vez aquellos están siendo cabalgados por los sedimentos de talud continental o cuenca oceánica (Paleozoico alóctono de Sonora central) y no sobre las calizas de plataforma, como se ha interpretado anteriormente (Amaya-Martínez, 2005; Poole et al., 2005)

## INDICE

Contenido	Página
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN .....	i,ii
I.- INTRODUCCIÓN .....	1
II.- GENERALIDADES .....	6
2.1 Localización y vías de acceso .....	6
2.2 Clima .....	6
2.3 Flora y Fauna .....	8
2.4 Fisiografía y Orografía .....	8
2.5 Hidrografía .....	10
2.6 Objetivos .....	10
2.7 Metodología .....	12
2.8 Trabajos Previos .....	13
III.- GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO .....	19
3.1 Geología Regional .....	19
3.2 Geología Local .....	21
3.3 Estratigrafía .....	24
3.3.1 Rocas de Plataforma .....	27

3.3.2 Formación Mina México .....	34
3.3.3 Alóctono del área .....	39
3.3.4 Rocas Ígneas .....	48
3.4 Correlaciones estratigráficas con otras áreas .....	50
IV.- CONTEXTO TECTÓNICO .....	58
V.- GEOLOGÍA HISTÓRICA .....	63
VI.- PETROGRAFÍA .....	65
6.1 Descripción de láminas delgadas .....	66
VII.- PALEONTOLOGÍA Y FÓSILES .....	76
VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
IX.- BIBLIOGRAFÍA .....	86

## I. INTRODUCCIÓN

Los afloramientos de secuencias sedimentarias de edad Paleozoico en el Estado de Sonora han sido reportados ampliamente en la literatura geológica de la región. En algunas localidades están representadas por potentes estratos carbonatados con algunos niveles clásticos que fueron depositados en un ambiente marino caracterizado por amplias plataformas continentales de profundidad somera, referidos en la literatura estratigráfica como secuencias *miogeoclinales* o de *plataforma carbonatada*. En otras localidades, son estratos siliciclásticos con algunos niveles carbonatados, también depositados en ambientes marinos pero asociados a cuencas de mayor profundidad, particularmente sobre el talud continental, los cuales son referidos por algunos investigadores como *secuencias eugeoclinales* o *cuerpos paleozoicos alóctonos*.

Estas secuencias paleozoicas, tomando en consideración su origen, ambiente de depósito, características sedimentológicas y paleontológicas, así como también, sus relaciones estratigráficas y estructurales-tectónicas, tanto locales como regionales, han sido amplia y detalladamente discutidas y descritas en investigaciones anteriores (Dumble, 1900; King, 1939; Menicucci, 1975; Peiffer-Rangin, 1979; Poole et al., 2005; entre otros).

Los sedimentos de plataforma carbonatada con facies detríticas menores, afloran en varias localidades de Sonora, particularmente en las regiones del noroeste y centro-oriente. Estos afloramientos conforman secuencias litológicas potentes, algunas de ellas manifestándose en superficie como porciones aisladas.

La integración cronoestratigráfica de estas secuencias representan en su conjunto casi la totalidad de los periodos del Paleozoico, desde el Cámbrico hasta el Pérmico, existiendo específicamente algunas localidades en donde no se reporta la presencia de estratos de edad Silúrico; lo que puede explicarse a partir de las siguientes alternativas: 1) no se depositaron; 2) si se depositaron, pero fueron erosionados; y 3) si se depositaron, pero no han sido identificadas.

En la porción centro-oriental de Sonora, más que en cualquier otra región del estado, este conjunto de secuencias miogeoclinales presentan una contraposición, desde un punto de vista litológico y estructural-tectónico, con las secuencias eugeoclinales sincrónicas (Ordovícico–Pérmico), por lo que regionalmente también se les refiere como secuencias paleozoicas alóctonas. Los afloramientos de estas últimas inician en los alrededores de La Colorada y Cobachi hasta la porción sureste de Bacanora y las porciones norte y noroeste de Tónichi (King, 1939; Menicucci, 1975; Peiffer – Rangin, 1979; Bartolini, 1988; Amaya-Martínez, 2004; Poole et al., 2005; entre otros).

Secuencias paleozoicas similares a las alóctonas de Sonora se reportan también en Chihuahua, aunque en esta región las rocas muestran un carácter de facies más detríticas, pero al igual que las primeras, representan ambientes de cuenca oceánica y talud continental. Estos afloramientos continúan en la parte oriental de los Estados Unidos en el sistema orogénico Ouachita-Marathon-Apalaches y en la parte occidental en el cinturón Cordillerano. En el cinturón orogénico Ouachita-Marathon-Apalaches, las secuencias de cuenca fuertemente deformadas y plegadas se encuentran cabalgando hacia el continente a los

sedimentos de plataforma. Esta misma relación estructural se tiene en Sonora, donde las rocas de cuenca profunda, fuertemente afectadas por fallamiento y plegamiento, se encuentran cabalgando a las secuencias siliciclásticas y turbidíticas, representadas por estratos decimétricos y métricos de arenisca de cuarzo de grano fino a muy fino, con intercalaciones de niveles de calcarenita o grainstone bioclásticos que contienen fósiles derivados de los estratos paleozoicos de la plataforma carbonatada.

Esta secuencia siliciclástica, referida informalmente como formación Mina México, fue depositada en cuencas tipo “*foredeep*”. Este término se utiliza para definir una cuenca o depresión de forma alargada desarrollada adyacente y en actitud subparalela al frente del Orógeno Ouachita-Marathon-Sonora, como resultado de la flexuras de la corteza, combinado con el efecto de carga litostática asociado y como consecuencia de la colisión de los continentes Gondwana (Suramérica) y Laurentia (Norteamérica) (Poole et al., 2005). De esta manera, el depósito y posición original de esta secuencia siliciclástica, modificada por eventos estructurales-tectónicos desarrollados en la región, desde el Pérmico Tardío hasta el Terciario, sería transicional y concordante sobre la parte superior de los estratos de la plataforma pérmica carbonatada (Amaya-Martínez, 2004; Poole et al., 2005).

La orogenia Ouachita-Marathon-Sonora (OMS) es un cinturón de aproximadamente 3000 km de longitud, evento que resulto de la clausura del Océano Reico, conformado por un conjunto de afloramientos de rocas paleozoicas deformadas que constituyen el margen meridional (sur) del Cratón de Laurentia (Norteamérica), extendiéndose desde Arkansas (Ouachita), continuando hacia el

suroeste a través de Texas (Marathon) y hacia el oeste por los estratos de Chihuahua y Sonora en México. Este sistema orogénico formado durante el Paleozoico Tardío fue desarrollado a partir de un evento de subducción y colisión. Las cuencas tipo “*foredeep*” y el levantamiento fueron creadas en la placa de Laurentia hacia la parte continental del orógeno. La estratigrafía regional y las relaciones estructurales indican una continuidad original física del cinturón Orogénico Ouachita-Marathon-Sonora a lo largo de todo el margen suroeste de Laurentia (Poole et al., 2005).

Los cabalgamientos iniciaron durante el Devónico en el norte de los Estados Unidos y concluyeron al final del Paleozoico (Pérmico Tardío), y probablemente, a principios del Mesozoico (Triásico Temprano) en Sonora. La deformación en el cinturón OMS comienza en el Misisípico en los tres sectores y termina en el Pensilvánico Tardío en las Montañas de Ouachita, durante el Pérmico Temprano en la región de Marathon, y en el Pérmico Tardío en Sonora. La rotación en sentido horario de Suramérica durante la colisión oblicua con Norteamérica es compatible con la actividad diacrónica que es más joven hacia el oeste en la última etapa del evento orogénico (Poole et al., 2005).

Uno de los principales objetivos de esta tesis es el de analizar, detallar y discutir acerca de las relaciones estratigráficas y tectónicas entre las secuencias paleozoicas de plataforma carbonatada y las de cuenca oceánica, haciendo énfasis en el ambiente de depósito y la edad de los estratos siliciclásticos y turbidíticos de areniscas de cuarzo (tipo flysh) de grano fino de la formación Mina México, así como la interrelación de éstos con las secuencias paleozoicas antes mencionadas.

La información generada en varias áreas donde se reporta la presencia de secuencias paleozoicas similares, ha permitido actualmente reinterpretar estas relaciones y se propone considerar que los estratos siliclásticos de la formación Mina México se depositan, de manera transicional y concordante, sobre las calizas pérmicas de plataforma, y que a su vez están siendo cabalgados por las secuencias de talud continental o cuenca oceánica (Paleozoico alóctono de Sonora central) y no sobre las calizas de plataforma, como se ha interpretado anteriormente.

## **II.- GENERALIDADES**

### **2.1.- Localización y vías de acceso.**

El área de estudio se encuentra localizada en la parte centro oriental del Estado de Sonora, ubicándose a 105 km al este de la Ciudad de Hermosillo, quedando delimitada entre los 28° 52' 50" y 29° 00' 00" de Latitud Norte y 109° 52' 00" y 109° 58' 25" de Longitud Oeste, dentro de la hoja Rebeico (H12D54) editada por INEGI a escala 1:50,000.

El acceso al área se logra partiendo desde la Ciudad de Hermosillo, tomando la carretera estatal 104 Hermosillo-Sahuaripa, pasando por el Municipio de Mazatán en el Km 80 y después por las instalaciones y planta de beneficio de Barita de Sonora, S.A. (actualmente abandonada) en el Km 100, existiendo a lo largo de esta varios caminos de terracería que comunican con poblaciones y rancherías (Figura 1).

### **2.2.- Clima**

El clima de la región se clasifica como tipo seco estepario, según el Sistema de Clasificación de Köppen (1936; modificado por García en (1964)), caracterizado por una temperatura media anual de 25° C, con valores máximos en el verano de 46° C a la sombra y mínimos en invierno alcanzando hasta -5° C. La temporada de lluvias durante el verano, en los meses de Julio y Agosto, es irregular y de carácter torrencial; así como algunas lluvias de escasa intensidad en invierno durante los meses de Diciembre a Marzo. Para esta región se ha estimado una precipitación pluvial anual menor a los 400 mm.

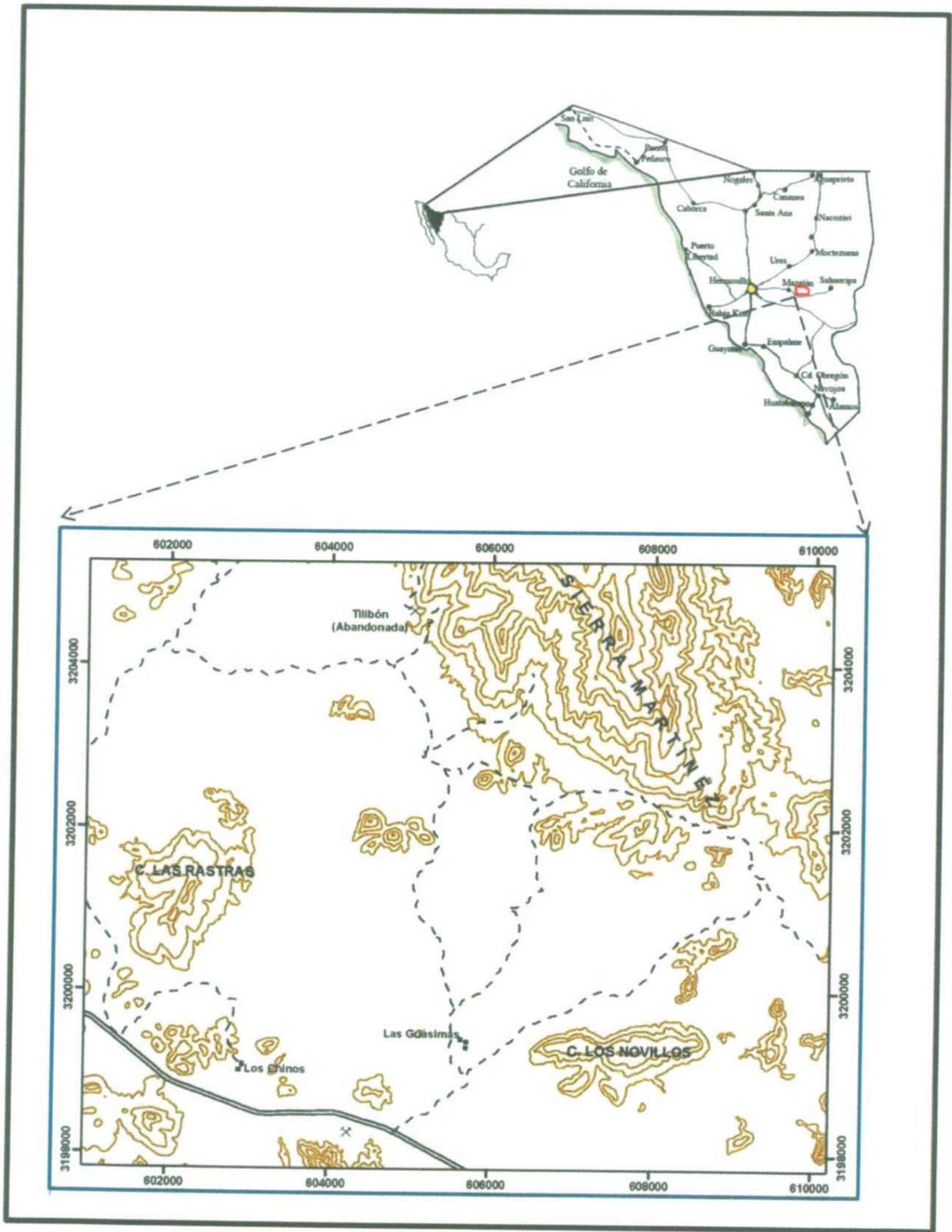


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio.

### 2.3.- Flora y Fauna

Como consecuencia de las condiciones climáticas se ha originado una vegetación de tipo desértica, representada por una abundancia general de mezquite (*Prosopis Juliflora*), pochote (*Ceiba Acuminata*), sahuaro (*Carnegia Gigantea*), uña de gato (*Prosopis Greggy*), maguey (*Agave Lophanta*), palma (*Ucca sp.*), palo verde (*Cercidium Microphullum*), choya (*Opuntia Choya*); así como también, palo blanco, mauto, chino, guásima, torote, palo de asta, pitahaya, ocotillo y una gran cantidad de matorrales entre los que destacan jumete, mala mujer, enredaderas, etc.

La fauna del área está constituida principalmente por venado cola blanca (*Odecoileus hemionus*), liebre (*Lapus gaillardi*), víbora de cascabel (*Crotalus terrificus basiliscos*), zorrillo (*Mephitis mephítica*), avispa (*Philites annuleris*), alacrán (*Mastigoproctus giganteus*), murciélagos (*Baliantoptergx plicata*), entre otras especies.

### 2.4.- Fisiografía y Orografía

El territorio del Estado de Sonora comprende áreas que corresponden a cuatro Provincias del país:

- \* *Desierto Sonorense*, en el noroeste y oeste;
- \* *Sierra Madre Occidental*, en la parte oriental;
- \* *Sierras y Llanuras del Norte*, en la porción boreal;

\* *Llanura Costera del Pacífico*, en el sur.

El área de estudio se encuentra situada dentro de la *Provincia del Desierto Sonorense*, que se divide en las subprovincias Sierras y Llanuras Sonorenses, Desierto de Altar y Sierra del Pinacate. La subprovincia a la cual corresponde el área es la de *Sierras y Llanuras Sonorenses*. Ésta comprende un área de 81, 661.40 km<sup>2</sup>, abarca completamente los municipios de Caborca, Altar, Sáric, Tubutama, Átil, Oquitoa, Pitiquito, Trincheras, Benjamín Hill, Hermosillo, Carbó, San Miguel de Horcasitas, Empalme y Mazatán. Incluye parte de los Municipios de San Luis Río Colorado, Puerto Peñasco, General Plutarco Elías Calles, Nogales, Magdalena, Santa Ana, Opodepe, Quiriego, Ures, Villa Pesqueira, La Colorada, Guaymas, Suaqui Grande y Cajeme.

Esta subprovincia se caracteriza por la presencia de un conjunto de sierras alargadas y de baja elevación, separadas por amplias llanuras o valles. Estas sierras son más elevadas (700 a 1,400 m.s.n.m.) y más estrechas (rara vez más de 6 km de ancho) en el oriente; y más bajas (de 700 m.s.n.m. o menos) y más amplias (de 13 a 24 km) en el occidente, esto a consecuencia de una tasa de erosión diferencial.

Las llanuras representan alrededor de 80% de la subprovincia. Están cubiertas en la mayor parte o en toda su extensión de amplios abanicos aluviales que descienden con pendientes suaves desde las sierras colindantes (INEGI, 1991).

Los rasgos orográficos más sobresalientes que se ubican dentro del área de estudio y sus alrededores se representan por un conjunto de sierras y promontorios, dentro de los cuales destacan los siguientes: Sierra Martínez, que corresponde en su mayoría a una potente secuencia sedimentaria, con una altura aproximada de

1400 m.s.n.m; cerro Las Rastras, principalmente de origen sedimentario, con una altura aproximada de 1000 m.s.n.m.; y cerro Los Novillos donde aflora una secuencia sedimentaria que es intrusionada por cuerpos ígneos terciarios en la parte sur y suroeste de este cerro, con una altura aproximada de 1100 m.s.n.m.

## **2.5.- Hidrografía**

El área se encuentra drenada por varios arroyos de tipo intermitente, que llevan agua solo en temporada de lluvias. Los nombres de estos arroyos, que son tributarios y casi todos drenan hacia el Río Yaqui, varían mucho en su trayecto y pertenecen a la cuenca hidrográfica del Río Yaqui. El patrón de drenaje que se presenta varía de paralelo a subparalelo y de dendrítico a subdendrítico.

## **2.6.- Objetivos**

Los objetivos contemplados para la realización de esta tesis son los siguientes:

1.- Efectuar un levantamiento a semidetalle (1:20000) de la geología área, con la finalidad de compilar y adicionar información actualizada principalmente en los aspectos de la geología, estratigrafía, paleontología y sobre todo, una reinterpretación de las relaciones tectónico-estructurales entre las secuencias paleozoicas de plataforma carbonatada, alóctonas y la formación Mina México.

2.- Describir y delimitar los contactos de las diferentes unidades que se presentan en el área y que sean un complemento a las unidades antes descritas por Poole y colaboradores desde 1982 hasta la fecha, y que de acuerdo con estos autores estas unidades pueden ser correlacionables a las descritas en otras partes del Estado.

3.- Reportar un conjunto de afloramientos siliciclásticos y turbidíticos, que de acuerdo con sus características litológicas y faunísticas, se consideran correlacionables con el conjunto de sedimentos que conforman a la formación Mina México, misma que ha sido descrita anteriormente en varias localidades en la porción centro oriental del Estado de Sonora, como la sierra Santa Teresa, Sierra Martínez y el área ubicada al sur del poblado de Bacanora, particularmente en los alrededores del yacimiento mineral Mina México, de donde toma su nombre (Hewett, 1978; Schmidt, 1978; Stewart et al., 1997; Amaya-Martínez, 2004 y Poole et al., 2005).

4.- Documentar que el cabalgamiento de la secuencia paleozoica alóctona en el área de estudio es sobre las areniscas de la formación Mina México y no sobre las rocas carbonatadas de plataforma como se pensaba anteriormente, ya que esta formación fue depositada concordante y transicionalmente sobre las calizas pérmicas de la plataforma carbonatada.

## 2.7.- Metodología.

Con la finalidad de cumplir y alcanzar los objetivos antes mencionados, se programaron y desarrollaron las siguientes actividades, mismas que fueron separadas y distribuidas en las siguientes etapas:

*Etapa 1.-* Recopilación bibliográfica de trabajos geológicos realizados sobre el área y áreas adyacentes, además de otras investigaciones llevadas a cabo en diferentes regiones, en donde afloran secuencias litológicas similares que contienen información de interés para la realización de este estudio.

*Etapa 2.-* Recorrido general del área aprovechando los caminos y brechas principales, realizando una serie de caminamientos sobre secciones seleccionadas, con la finalidad de observar los contactos entre las principales unidades litológicas aflorantes; así como también, la recolección de muestras de roca representativas de la litología y de aquellos niveles con presencia de macrofósiles, con el propósito de elaborar láminas delgadas y secciones pulidas para su posterior estudio petrográfico y paleontológico.

*Etapa 3.-* Mapeo a semidetalle sobre el área de interés, mediante actividades de campo enfocadas a la realización de cartografía, utilizando porciones del plano topográfico INEGI, amplificado a escala 1:20000, que sirvió de información base para la elaboración del plano geológico definitivo.

*Etapa 4.-* Actividades de gabinete y laboratorio, en las cuales se efectuaron los estudios petrográficos y paleontológicos de láminas delgadas y de secciones pulidas de un total de 22 muestras seleccionadas. Dentro de esta misma etapa, se elaboraron las columnas estratigráficas y secciones geológicas respectivas, utilizando la información contenida en el plano geológico del área.

El trabajo de campo se efectuó en 50 días efectivos, espaciado en 7 meses, en los cuales se realizaron las actividades anteriormente enlistadas.

## **2.8.- Trabajos Previos.**

De acuerdo con la recopilación bibliográfica, es evidente que en esta porción de Sonora central se han realizado una serie de estudios geológicos, estratigráficos y paleontológicos, tanto por investigadores nacionales como extranjeros. Algunos de estos estudios tuvieron un interés netamente científico; sin embargo, otros fueron enfocados a la prospección minero-geológica, encaminados a la localización de áreas que presentaran evidencias de contener yacimientos minerales, tanto metálicos, como no-metálicos. A continuación se presenta una cronología de las principales y/o investigaciones relevantes efectuadas dentro de esta área de tesis o sus alrededores.

**Dumble (1900)** efectuó el reconocimiento geológico en la parte centro y sureste de Sonora, observando la presencia de rocas paleozoicas. Propuso el nombre de “División Báucari” y le asignó una edad del Terciario; describió la División Barranca del Triásico Superior y propuso el nombre de División Lista

Blanca para una serie de rocas volcánicas terciarias.

**King (1939)**, realizó un reconocimiento de la geología de Sonora central, describiendo localidades ordovícicas en Cobachi y al norte del rancho La Casita. También reportó rocas pérmicas en el cerro las Rastras al noroeste del rancho Los Chinos. Elevó a rango de grupo a la División Barranca, anteriormente propuesta por Dumble, y redefinió el término de Báucari por Báucarit además de elevarlo a rango de formación.

**Menicucci (1975)** llevó a cabo un estudio geológico regional entre Mazatán y el Río Yaqui. Este autor define y nombra la unidad alóctona Los Chinos del Permo-Triásico, que consiste de cuarcitas, areniscas calcáreas y sedimentos detríticos volcanosedimentarios. Esta localidad presumiblemente correspondería a afloramientos ubicadas hacia el este de Mazatán.

**Hewett (1978) y Schmidt (1978)**, elaboran sus tesis profesionales tituladas *Geology of Cerro La Zacatera area, Sonora, México*, y *Geology of the northern Sierra El Encinal, Sonora, México*, respectivamente. En estos trabajos dichos autores describen una gruesa secuencia de rocas sedimentarias del Pérmico Inferior a la que denominaron formación El Tigre, la edad fue asignada en base a fusulínidos, incluyendo: *Parafusulina*, *Monodiexodina* y *Schwagerina*; así como una secuencia clástica que denominaron formación Mina México a la cual le asignaron una edad Pérmico - Triásico.

**Peiffer–Rangin (1980)**, realizó un estudio para la determinación de rocas ordovícicas en base a graptolitos en la región de Cobachi. Además indica que en el área central del Estado de Sonora se presentan fuertes plegamientos y zonas de transición cuenca-plataforma, considerando que los sedimentos de tipo eugeoclinal en esta parte del estado fueron tectónicamente afectados por el cinturón orogénico Ouachita-Marathon, proponiendo así una extensión hacia el pacífico de este sistema.

**Noll (1981)**, en un estudio geológico en el área de Cobachi definió informalmente tres unidades estratigráficas paleozoicas: grupo Guayacán (Ordovícico Superior–Devónico Superior), caliza Picacho Colorado (Misisípico – Pérmico Inferior) y formación Vuelta Colorada (Pérmico Medio–Superior).

**Verdugo-Harita (1987)**, elabora su tesis profesional relacionada con el reconocimiento geológico–económico de los depósitos de barita en el área del rancho Las Guásimas, describiendo las características estratigráficas y sedimentológicas de las principales unidades aflorantes, y en particular de los niveles de la secuencia alóctona que contienen los cuerpos de barita. Analiza y discute lo referente al origen de la barita, así como también la información relacionada con las reservas existentes.

**Radelli et al., (1987)** realizan una compilación de varios estudios estratigráficos y tectónicos efectuados en Sonora central, elaborando un plano regional en donde se ubican los diferentes afloramientos paleozoicos, tanto de plataforma como de cuenca y publican un artículo en el Boletín del Departamento

de Geología de la Universidad de Sonora titulado “Allochthonous Paleozoic bodies of Central Sonora”.

**Barrera-Moreno y Domínguez-Perla (1987)**, elaboran su tesis profesional con base a la geología de la carta Tonichi (H12D65), donde reportan la presencia de extensos afloramientos de la secuencia alóctona, muchos de ellos considerados anteriormente como parte de la secuencia paleozoica de plataforma y otros asignados a la secuencia litológica del Grupo Barranca.

**Peiffer-Rangin (1987)** realiza el estudio bioestratigráfico detallado y completo del Paleozoico en Sonora, incluyendo secciones estratigráficas con la descripción de la microfauna observada.

**Montijo-González y Terán-Ortega (1988)**, elaboran su tesis profesional con base a un estudio regional a semidetalle sobre la geología de la carta Rebeico (H12D54), proponiendo la utilización del término informal de serie Martínez para describir una secuencia detrítico-carbonatada de plataforma, que dividen en unidad inferior (Cámbrico-Ordovícico) y unidad superior (Devónico Medio?-Pérmico Inferior). Mencionan además la presencia de rocas intrusivas félsicas de composición granodiorítica, que se emplazan y metamorfizan en grado variable a las rocas paleozoicas y mesozoicas.

**Poole et al., (1995)**, describen que la base de la secuencia autóctona (de plataforma) en el área Sierra Martínez está constituida por estratos de caliza y ortocuarcita, reportándose en las calizas trilobitas? y conodontos, asignándole una

probable edad del Cámbrico. Las capas de ortocuarcitas se correlacionan con la unidad Peña Blanca, considerándose por lo mismo una edad del Ordovícico.

**Pérez-Ramos (2001)**, realiza un estudio bioestratigráfico del Pérmico en Sonora y describe en la Sierra Martínez, cerro Las Rastras, El Antimonio (Caborca), sierra Santa Teresa, cerro Prieto y Picacho Colorado la presencia de fusulínidos, de las especies *Parafusulina antimoniensis*, *Parafusulina cf. P. multisepta*, *Skinnerella cobachiensis n. sp.*, *Cuniculina sp. A*, *Eoparafusulina cf. E. mendenhalli*, *Schwagerina sp. A*, entre otras, las cuales su rango de edad varía en el Pérmico desde el Wolfcampiano hasta el Guadalupiano.

**Amaya-Martínez (2004)**, en su tesis de Maestría, sobre la estratigrafía de la porción sur de Bacanora, documenta la presencia de sedimentos siliciclásticos y turbidíticos de grano fino a muy fino de la formación Mina México descrita anteriormente por Hewett y Schmidt (1978), determinando y proponiendo que el depósito de estos se efectúa de manera transicional y concordante sobre los estratos carbonatados pérmicos de la plataforma. En los alrededores del rancho San Marcos documenta la existencia, de acuerdo con características litológicas y paleontológicas observadas, de sedimentos correlacionables con la secuencia alóctona paleozoica que afloran en las localidades de Minas de barita, Tónichi, sierra El Aliso y La Clorada.

**Poole et al., (2005)**, publican un artículo titulado "Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events and plate-tectonic

model". En este artículo se incluye la información obtenida en diferentes reconocimientos geológicos de la porción central de Sonora que se iniciaron desde 1982, contribuyendo con el aporte de nueva información en las relaciones estratigráficas y tectónicas entre las secuencias de plataforma, alóctona y la formación Mina México, particularmente en las localidades de los cerro Las Rastras, Los Novillos y la Sierra Martínez.

**Orozco-Grajeda y Gutiérrez-Acosta (2006)**, realizaron su tesis profesional titulada Bioestratigrafía y Paleogeografía del Paleozoico Superior del Centro-Este del Estado de Sonora, México, la cual estuvo enfocada principalmente en el área del cerro Las Rastras, Sierra Martínez y cerro Los Novillos, en la carta Rebeico (H12D54).

**Peña-Quijada (2007)**, realizó su tesis profesional titulada Marco Regional y Principales Zonas Mineralizadas de la Porción Sur-Este de la Carta Bacanora (H12D55), en Sonora Central, en la cual hace mención de que aflora una secuencia carbonatada paleozoica marina, correlacionable con secuencias del miogeoclinal cordillerano del oeste del continente de Norteamérica. También reporta la presencia de sedimentos siliciclásticos y turbidíticos de la formación Mina México, así como la presencia de graptolitos (ordovícicos) en lutitas carbonosas, litología característica de cuenca oceánica profunda, correlacionables a los cuerpos paleozoicos aloctonos reportados por Poole (2005) en el área Minas de Barita de Sonora Central.

### **III.- GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO.**

#### **3.1.- Geología Regional.**

El contexto geológico regional en el que se ubica el área de estudio está representado por un conjunto de rocas que varían en edad desde el Precámbrico hasta el Holoceno. Las unidades principales están constituidas por grandes paquetes de rocas sedimentarias paleozoicas, tanto de plataforma como de cuenca profunda; sedimentos siliciclásticos y turbidíticos; así como también por rocas ígneas volcánicas e intrusivas, existiendo afloramientos aislados de rocas metamórficas.

El Paleozoico alóctono está representado por las unidades litológicas de cuenca o talud continental, conformado principalmente por estratos de lutita con graptolitos, bandas de pedernal con radiolarios, lodolita, argilita y en menor proporción caliza, cuarcita, conglomerado y dolomía. Estas unidades litológicas, con rango de edad entre Ordovícico Temprano y Pérmico Medio, están representando al aloctono, que es un conjunto de afloramientos paleozoicos eugeoclinales depositados en ambientes marinos de cuencas.

El Paleozoico autóctono está representado por rocas sedimentarias marinas principalmente de plataforma, constituidas por caliza fosilífera masiva, arenisca, limolita, y lutita, las cuales son consideradas como parte de un miogeoclinal o de plataforma carbonatada, con un rango de edad del Pre-cámbrico hasta el Pérmico.

El Cretácico Superior volcánico está representado principalmente por andesita y toba andesítica de textura afanítica que varía a porfídica, correlacionable con la Formación Tarahumara. Estas rocas cubren discordantemente y por contacto tectónico a las rocas paleozoicas de cuenca, y son cubiertas a su vez, discordantemente por rocas volcánicas del Oligoceno.

El Cretácico Superior-Paleógeno está representado por cuerpos de composición granito-granodiorítica, afectando a rocas del Paleozoico y Cretácico Superior. Estos afloramientos corresponden a intrusiones batolíticas laramídicas de 61.2 Ma.

El Cenozoico está representado por rocas sedimentarias clásticas e ígneas volcánicas. Las primeras pertenecen al Mioceno y están representadas por depósitos clásticos continentales conformados por estratos o niveles de arenisca, conglomerado, lodolita, así como derrames de basalto intercalados, correlacionables con la Formación Baucarit; las segundas pertenecen al Mioceno Superior y comprenden tobas y derrames de composición andesítica, latítica y riolítica generalmente muy alteradas, correlacionable con la Formación Lista Blanca.

Finalmente los depósitos del Cuaternario están representados por gravas, arenas y aluvión, que generalmente están cubriendo discordantemente a todas las rocas preexistentes.

### 3.2.- Geología Local.

El contexto litológico local que se presenta en el área de estudio, está denominado principalmente por los afloramientos de rocas carbonatadas de plataforma, rocas sedimentarias de talud continental o cuenca oceánica y rocas ígneas intrusivas, además de presentarse depósitos de aluvión y talud. En el área se han realizados trabajos y cartografiado secuencias litológicas **miogeoclinales** y **eugeoclinales** (Poole et al, 2005; Stewart et al, 1990; Radelli et al, 1987).

Las rocas más antiguas reportadas son del Precámbrico y corresponden a estratos delgados de esquisto y cuarcita de grano medio a grueso y en partes conglomeráticas, que pudieran corresponder, de acuerdo con una información radiométrica preliminar sobre cristales de circón, a la porción inferior del basamento sedimentario sobre el cual se depositaron las potentes secuencias miogeoclinales o de plataforma carbonatada (Poole y Amaya-Martínez, 2006, comunicación personal). Descansando concordantemente sobre estas rocas metamórficas, tenemos a toda la secuencia miogeoclinal representada principalmente por calizas masivas fosilíferas, cuarcitas y areniscas de cuarzo, de edad Cámbrico hasta Pérmico, a excepción del Silúrico, del cual no se han encontrado rocas correlacionables a esta edad.

Las secuencias eugeoclinales están representadas por estratos de lutita, pedernal negro, lodolita, argilita y en menor proporción niveles de espesor variable de caliza, cuarcita, conglomerado, dolomía, cuerpos irregulares de barita y locales niveles de toba. Estos sedimentos tienen un rango de edad entre el Ordovícico

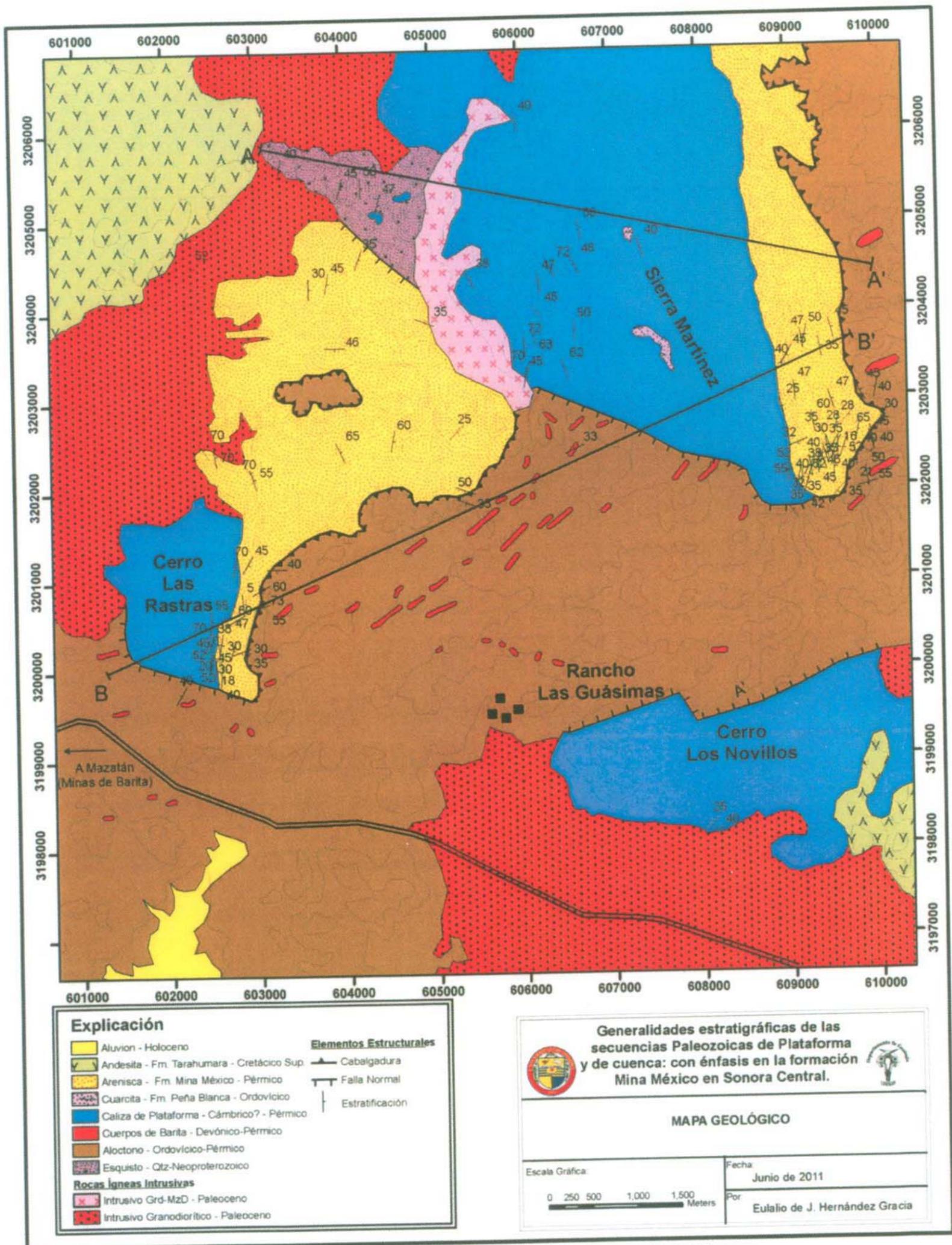


Figura 2.- Mapa geológico-estructural generalizado del área de estudio (Modificado de Poole et al., 2005; Amaya-Martínez, 2011).

### 3.3.- Estratigrafía.

En el área afloran principalmente rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas intrusivas, que varían en edad desde el Precámbrico hasta el Holoceno (Figura 3). Estos paquetes de rocas sedimentarias fueron depositados contemporáneamente en ambientes de plataforma y talud continental o cuenca. Las unidades de plataforma corresponden a un esquisto- cuarcita, de edad Precámbrica, que aflora al nor-oeste de la Sierra Martínez, esta es sobreyacida discordantemente por una secuencia de caliza y cuarcita, de edad Cámbrico Superior-Pérmico Inferior que aflora en la parte media-superior de la Sierra Martínez, y en los cerros Las Rastras y Los Novillos. Esta última unidad está siendo cubierta concordantemente por una secuencia de areniscas de cuarzo, de edad Pérmico Inferior-Superior que aflora al este de la Sierra Martínez y al este-noreste del cerro Las Rastras.

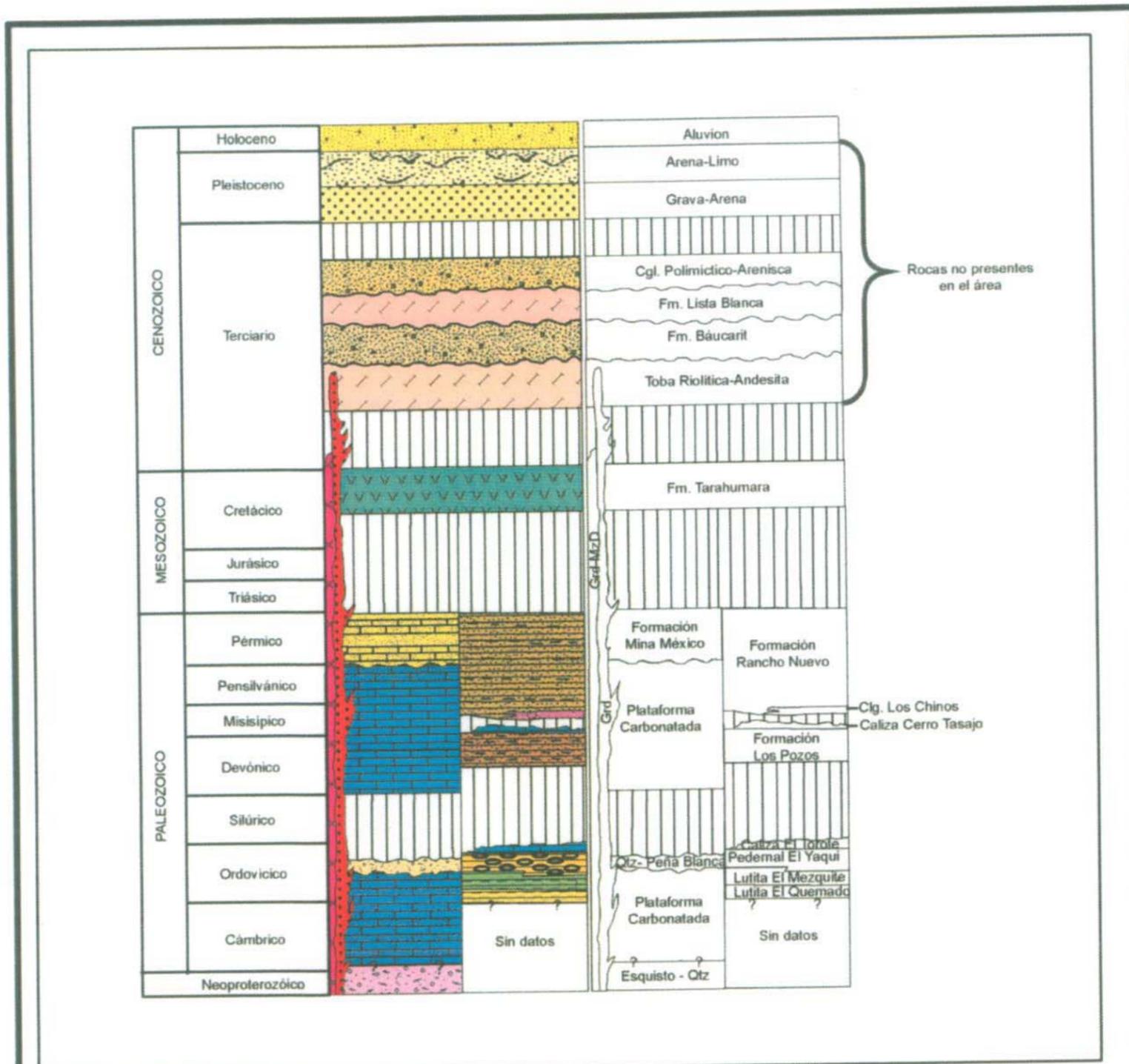
Las unidades litológicas de talud continental o cuenca, representadas principalmente por lutita, arenisca, pedernal, caliza y conglomerado, de edad Ordovícico Inferior-Pérmico Superior, están sobreyaciendo, por cabalgadura o en contacto por fallas normales a las secuencias de plataforma.

El Cretácico Superior está siendo representado por una unidad constituida por andesita y toba andesítica, que cubre discordantemente o por contacto tectónico, a las rocas paleozoicas de ambiente de plataforma.

Cuerpos intrusivos de composición granito-granodiorita, de edad Cretácico Superior-Terciario Paleoceno, afloran en la parte centro-este y nor-oeste del área,

afectando a todas las secuencias antes mencionadas.

Por último, el Holoceno es representado por aluvión, que se encuentra descansando, discordantemente sobre las unidades anteriormente mencionadas y en los cauces de arroyos principales.



**EXPLICACIÓN**

Aluvion	<b>Plataforma</b>
<b>Rocas Volcánicas</b>	Arenisca de Cuarzo
Andesita-Toba Andesítica	Caliza
<b>Alóctono</b>	Cuarcita
Arenisca - Lutita	Caliza - Arenisca
Conglomerado	Esquisto - Qtz
Caliza Turbidítica	<b>Rocas Intrusivas</b>
Arenisca Turbidítica	Granodiorita
Caliza Dolomítica	Grd-MzD
Pedernal	
Lutita - Arenisca	
Lutita - Limolita	

**Generalidades estratigráficas de las secuencias Paleozoicas de Plataforma y de cuenca: con énfasis en la formación Mina México en Sonora Central.**

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA ESQUEMÁTICA**

Sin Escala	Fecha: Junio de 2011 Por: Eulalio de J. Hernández Gracia
------------	---

**Figura 3.-** Columna estratigráfica esquemática general del área (Modificada de Poole et al., 2005; SGM, 2006).

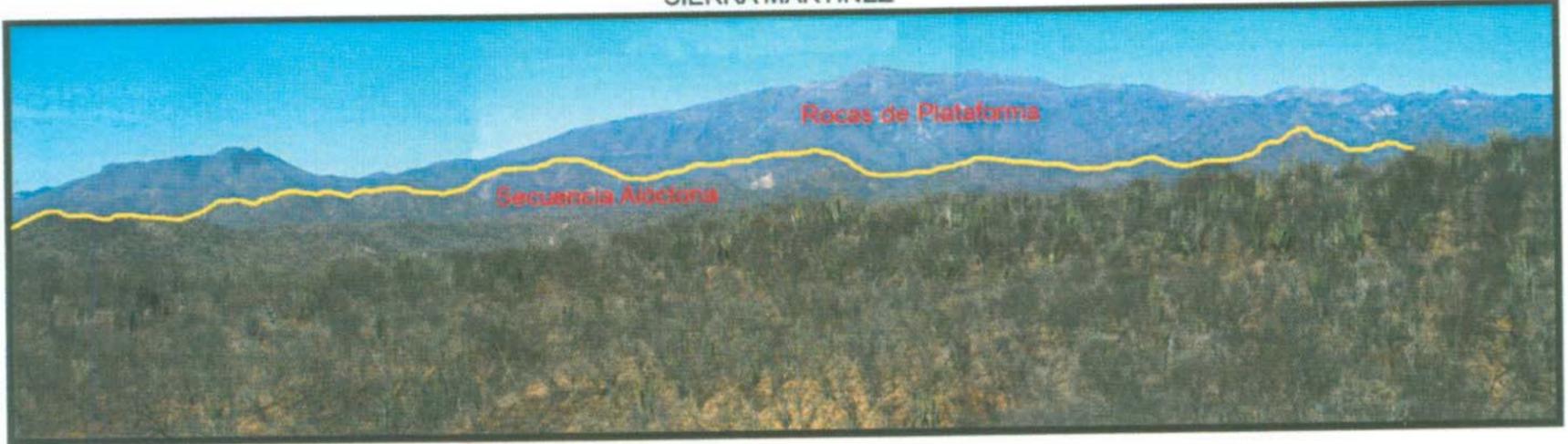
### 3.3.1.- Rocas de Plataforma.

Esta secuencia está representada principalmente por potentes estratos de caliza masiva y en menor proporción dolomía, caliza arenosa, capas de pedernal, arenisca de cuarzo de grano medio a fino con estratificación cruzada. La edad de esta secuencia varía del Precámbrico al Pérmico, a excepción del Silúrico. Durante este intervalo de tiempo lo que actualmente es Sonora estuvo situado a lo largo de una margen continental estable, sitio en el que se efectuaba el depósito de potentes secuencias carbonatadas, las cuales reflejan un ambiente sedimentario de plataforma continental, definido como miogeoclinal cordillerano (Poole et al, 2000), el cual se desarrolló sobre el cratón de Norteamérica. Esta secuencia fue depositada en un ambiente marino somero. La fauna marina está representada principalmente por trilobitas?, braquiópodos, moluscos briozoarios, corales y una gran abundancia de fusulínidos (Pérez-Ramos, 2001; Poole et al, 2000; Orozco y Gutiérrez, 2006).

De acuerdo con estudios preexistentes (Montijo y Terán, 1988), se ha propuesto el término informal Serie Martínez para denominar a esta secuencia detrítico carbonatada de plataforma que aflora en la Sierra Martínez, Cerro Las Rastras y parte del Cerro Los Novillos y a la cual la dividen en dos unidades: *Unidad Inferior*, representada por un conjunto de estratos de arenisca calcárea, caliza arenosa y caliza con pedernal blanco, que muestran evidentes efectos de hidrotermalismo-metamorfismo a consecuencia del emplazamiento de los cuerpos intrusivos graníticos, y por lo mismo, sus fósiles se tienen mal preservados y recristalizados; alcanza un espesor de 700 m y se le asigna una edad Cámbrico?-

Ordovícico?. La *Unidad Superior* está en contacto discordante con la unidad inferior y se caracteriza por una secuencia dominada por la intercalación de estratos de caliza arenosa con lentes de pedernal, las cuales varían hacia la parte superior a estratos masivos de arenisca y caliza fosilíferas con un espesor de 1200 m, cuya edad se considera Misisípico - Pensilvánico al Pérmico Temprano.

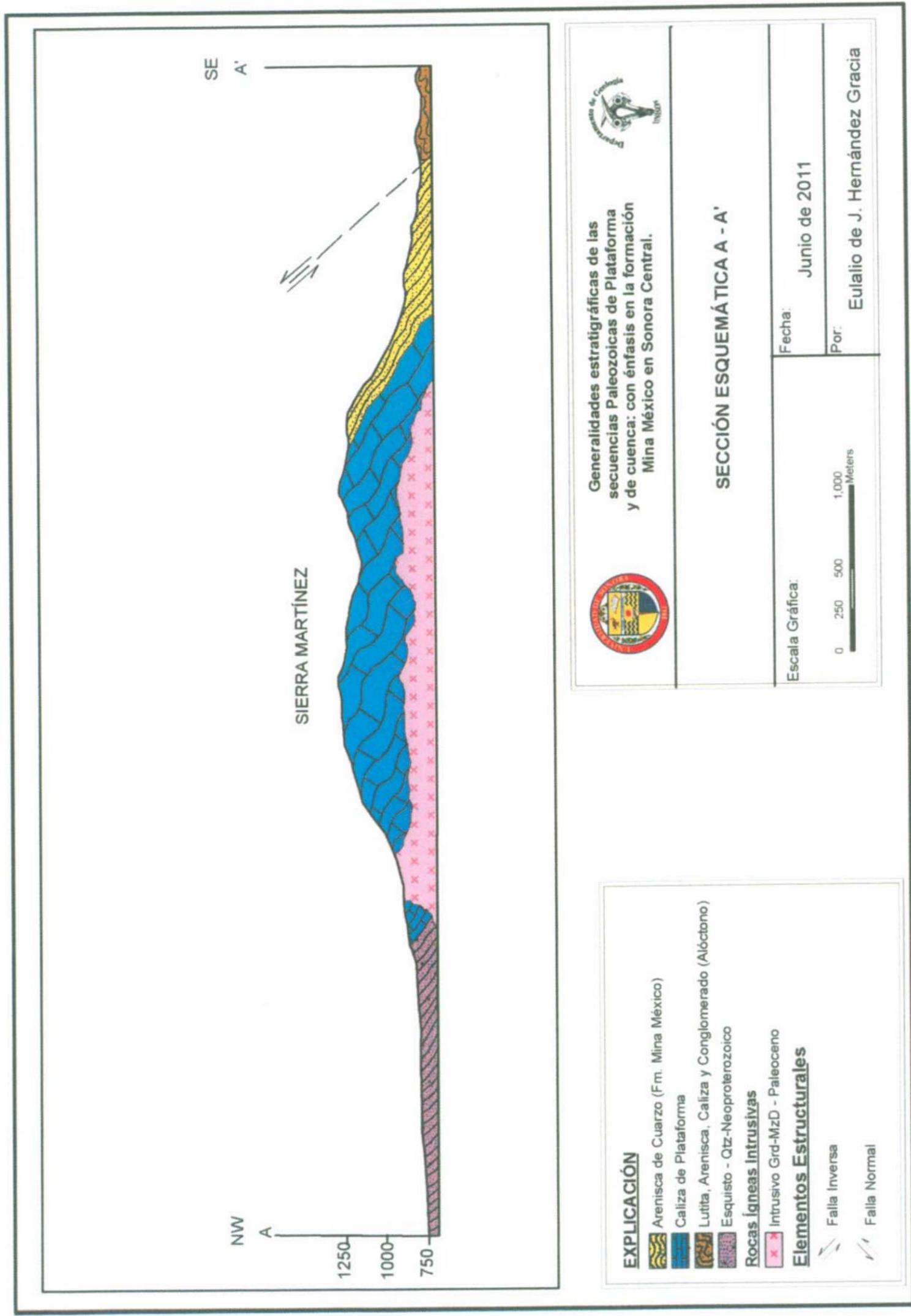
SIERRA MARTINEZ



**Fotografía 1.** Panorámica de la Sierra Martínez, viendo hacia el oeste. Localidad donde se puede observar el contacto por falla normal de las rocas de plataforma y las rocas del alóctono.

Se realizó la sección A-A' (Figura 4) con una orientación NW a SE en la Sierra Martínez, que es donde mejor se expone este gran paquete de rocas de plataforma, cuya descripción se hace a continuación.

La base de esta secuencia corresponde a estratos delgados de esquisto y cuarcita de grano medio a grueso y localmente conglomerática, y se infiere que corresponde al basamento sedimentario sobre el cual se depositaron las potentes secuencias miogeoclinales o de plataforma carbonatada (Poole y Amaya-Martínez comunicación escrita, 2006).



**Figura 4.-** Sección esquemática A-A' orientada NW-SE, realizada en la Sierra Martínez, donde mejor se exponen las rocas de plataforma.

Siguiendo con la sección se presenta un paquete de estratos de caliza silicificada y recristalizada, con abundantes estratos lenticulares de pedernal y observándose un cambio gradual a dolomía de grano medio a grueso, con esporádicos cristales de dolomita (fotografía 2). Dentro de este paquete existen estratos calcáreos, de espesor irregular y variable, que contienen fragmentos de fósiles recristalizados, que por su remanente morfología se identifican como trilobitas, gasterópodos y bivalvos, de probable edad Cámbrico? a Ordovícico Temprano a Medio.



**Fotografía 2.-** Afloramiento de caliza silicificada y recristalizada del Cámbrico-Ordovícico, en la base de la Sierra Martínez.

Sobreyaciendo a la unidad carbonatada anterior, se depositó un estrato muy distintivo y característico representado por una cuarcita masiva, de grano fino, de coloración blanca con óxidos de fierro en superficie intemperizada y blanca rosada en superficie fresca, con un espesor de 30 m aproximadamente. En el área de Cobachi y dentro de la secuencia miogeoclinal aflorante, este estrato de cuarcita ha sido definido informalmente con el nombre de Cuarcita Peña Blanca a la que se le asigna una probable edad del Ordovícico Medio y que se localiza en los alrededores del rancho del mismo nombre (Ketner, 1986). Esta diagnóstica unidad de cuarcita ha sido reportada en secuencias miogeoclinales similares en varias localidades de Sonora central, como es el caso de Sierra de López, rancho Placeritos, cerro Las Rastras, Sierra Martínez y porción sur de Bacanora, entre otras (Stewart et al., 1990 y Poole et al., 2005)

Esta unidad, de acuerdo con sus características litológicas, composicionales y granulométricas, se considera correlacionable con la Cuarcita Eureka, que es una unidad de estratos similares que han sido reportados y descritos en algunas localidades paleozoicas miogeoclinales en Canadá y Estados Unidos, a la que se le ha asignado una edad del Ordovícico Medio.

A pesar de que esta unidad de cuarcita no contiene fósiles que permitan asignarle una edad más confiable, se considera como criterio significativo la interpretación de un aparente contacto gradacional entre los estratos de estas unidades, ya que la parte superior de la caliza del Cámbrico-Ordovícico se caracteriza por contener gránulos de cuarzo y la parte inferior de la cuarcita Peña

Blanca contiene niveles calcáreos. Otro criterio o factor considerado para su asignada edad y correlación con la Cuarcita Eureka es su alta pureza y contenido de sílice, siendo en ambos casos cercanos a 99% (Ketner, 1986).

Discordantemente sobre esta cuarcita se depositan estratos de caliza, en parte conglomerática (debris flow) y transiciones graduales a dolomía, de una probable edad Devónico; es de coloración grisácea con delgados lentes de material arenáceo (calcita-sílice) paralelos a los estratos y con fósiles muy característicos que han sido identificados como espinas y huesos de pescado y corales solitarios. Una fauna similar ha sido reportada en la localidad del rancho Placeritos (Poole et al., 2000). Aquí se interpreta la existencia de un *hiatus*, ya que no se tienen reportes, ni en esta sección se pudo determinar, la presencia de estratos silúricos en el área.

Desde esta unidad y hasta el contacto con la arenisca de cuarzo de la formación Mina México, se presentan calizas de grano fino a medio de estratificación gruesa, con intercalaciones locales de una material arenáceo de estratificación laminar a delgada, de textura kárstica y con fósiles como corales solitarios, corales coloniales, fragmentos de crinoides, braquiópodos y fusulínidos, que indican un rango de edad que comprende desde el Misisípico hasta el Pensilvánico Tardío-Pérmico Temprano?

Además de esta localidad, las rocas de esta unidad están muy bien expuestas en parte del cerro Las Rastras y cerro Los Novillos, en los cuales se encontraron horizontes con gran cantidad de fusulínidos del Pérmico Temprano, así como ejemplares bien preservados de briozoarios, pelecípodos, braquiópodos, corales y

crinoideos. Al oeste del cerro las Rastras y al este del cerro Los Novillos, la caliza presentan un alto grado de recristalización debido al emplazamiento, con los consecuentes y lógicos efectos de hidrotermalismo, metasomatismo y metamorfismo, del cuerpo intrusivo granodiorítico El Estribo, al cual se le ha asignado una edad laramídica de 62 Ma (Poole et al., 2005).

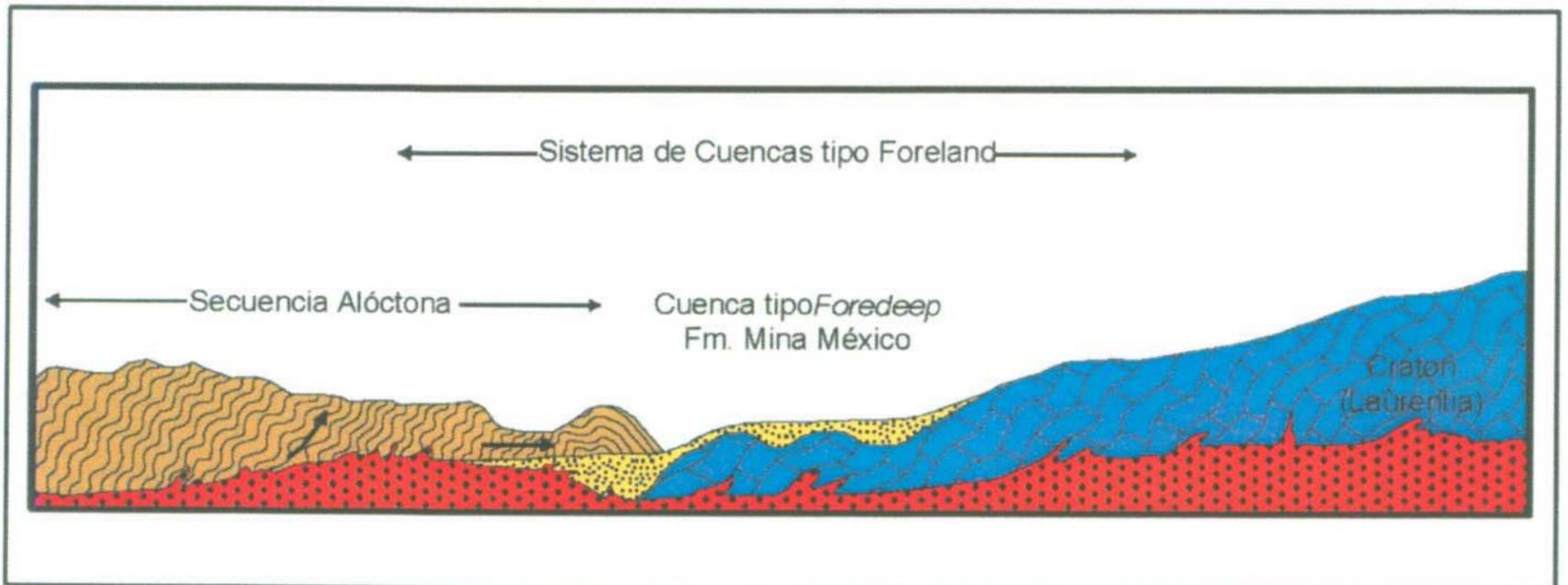
### 3.3.2.- Formación Mina México.

Originalmente la formación Mina México fue descrita por Hewett y Schmidt (1978) al sur del poblado Bacanora en las Sierras El Encinal y La Zacatera. Estos autores establecen y definen tres miembros informales que consideran forman parte de la formación El Tigre (Imlay, 1939) que está compuesta, de la base a la cima, por 130 m de estratos de arenisca de cuarzo pertenecientes al miembro Los Alisos, y de 750 m de caliza arenosa y limosa con intercalaciones de arenisca, con contenido fosilífero como fusulínidos del Leoneardiano, pertenecientes al miembro La Cueva, mismo que subyace concordantemente a una unidad que definen como formación Mina México, compuesta por una secuencia de argilita y grauvaca de grano fino, con un espesor de 1000 m aproximadamente, a la cual le asignaron una edad del Pérmico-Triásico en base a su posición estratigráfica.

Los estratos de caliza de la parte superior de la plataforma (Pérmico Temprano) son cubiertos de manera concordante y transicional por los sedimentos siliciclásticos y turbidíticos de la unidad litológica denominada informalmente como formación Mina México, los cuales fueron depositados dentro de una cuenca tipo “foredeep” (Figura 5).

La formación Mina México corresponde a una secuencia sedimentaria detrítica-turbidítica y siliciclástica (tipo flysh), depositada en un ambiente marino de transición. El depósito de esta secuencia forma estratos decimétricos de arenisca de cuarzo de grano muy fino y fino a medio, de estratificación delgada a media, aunque localmente se observan niveles con estratificación laminar, sobre todo en

aquellos intervalos en donde se incrementa la presencia de material de granulometría muy fina, tipo argilita-lutita.

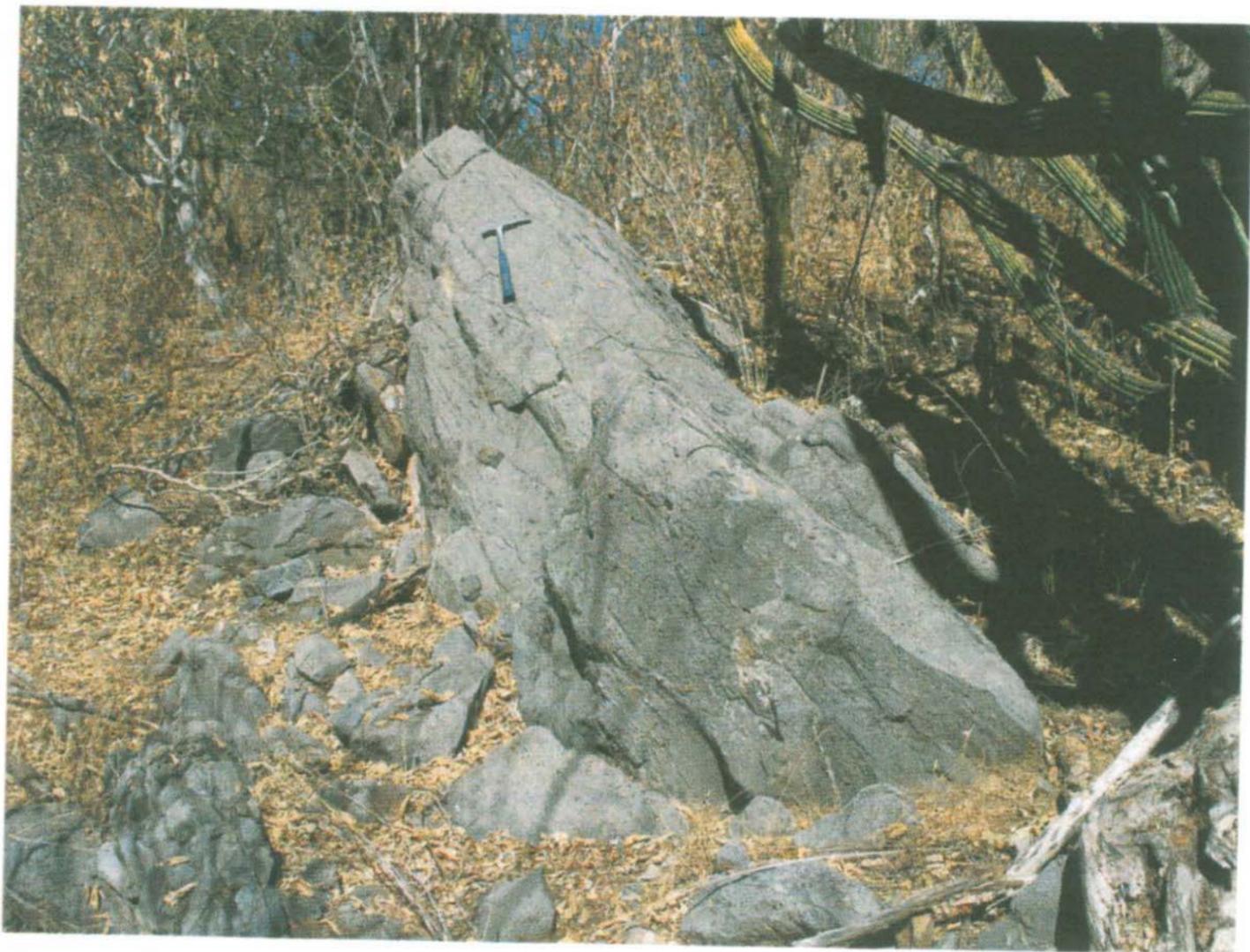


**Figura 5.-** Esquema ilustrativo de la formación y posición de las cuencas tipo “foredeep” que se forman en este tipo de sistemas (Tomado y modificado de DeCelles y Giles, 1996).

En lo general, estos estratos siliciclásticos muestran una coloración café-rosa claro en superficie fresca con vetillas rellenas por material silíceo, y en superficie intemperizada una coloración café-grisácea a café amarillenta, con la presencia de una característica oxidación (debido a la lixiviación-alteración de sulfuros de fierro). Un elemento distintivo en esta unidad siliciclástica es la presencia de intercalaciones de niveles turbidíticos calcáreos (calcarenitas) o grainstone bioclásticos, con un contenido variable de fósiles como fusulínidos, crinoides, bivalvos y briozoarios en su mayoría recristalizados, que fueron derivados y transportados de la secuencia de plataforma. Así mismo, es frecuente observar niveles en donde existe la presencia de fósiles traza del tipo *escalarituba*, *neraites*, *lophoctenium*, *cosmorhaphé*, que nos indican un ambiente de depósito de aguas más profundas, en comparación con la profundidad de depósito que se le atribuye a la secuencia de plataforma.

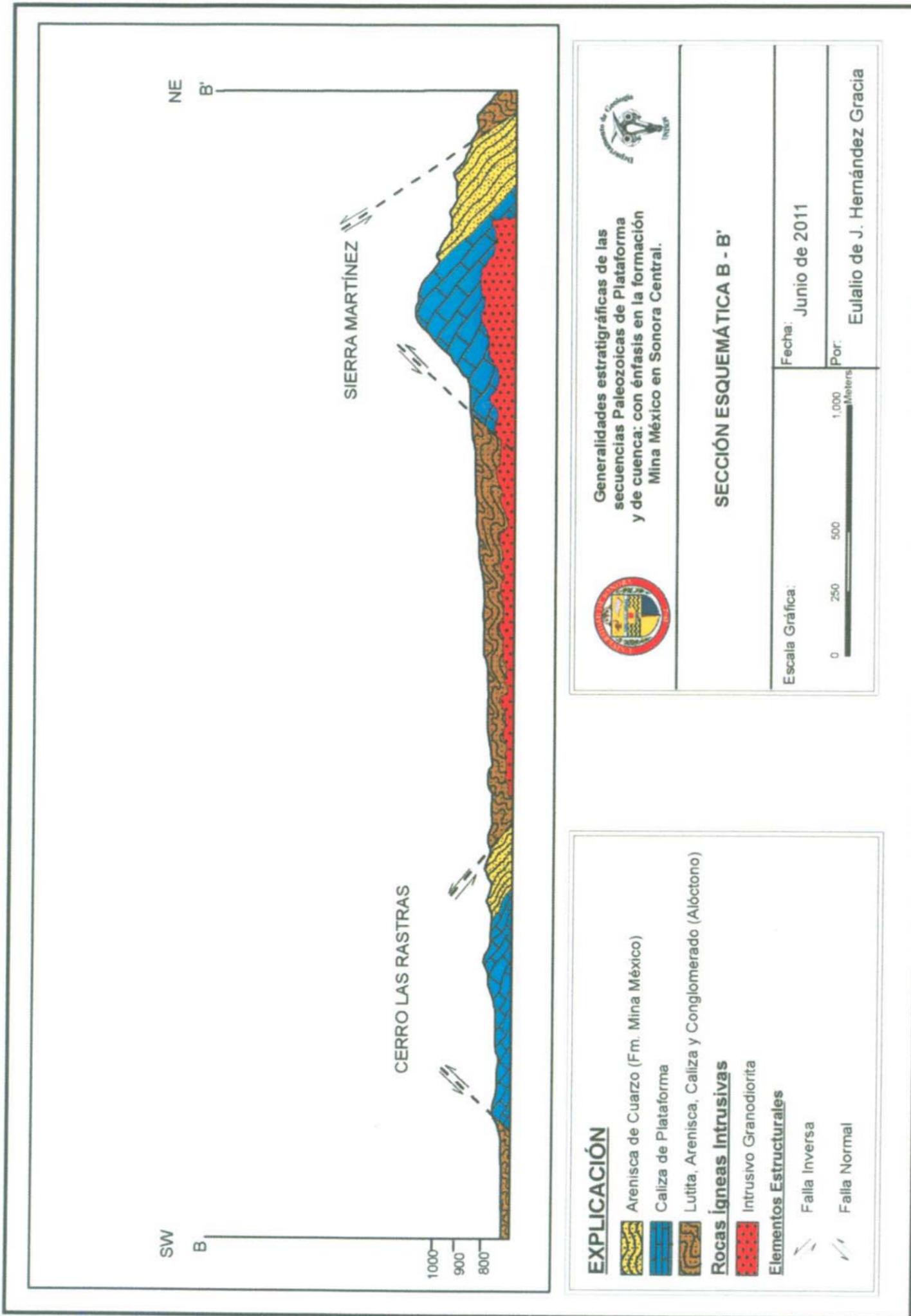


**Fotografía 3.-** Detalle de los estratos siliciclásticos y turbidíticos de la Formación Mina México.



**Fotografía 4.-** Afloramiento de las capas de niveles turbidíticos (calcareenitas) con fósiles del Pérmico, dentro de la Formación Mina México.

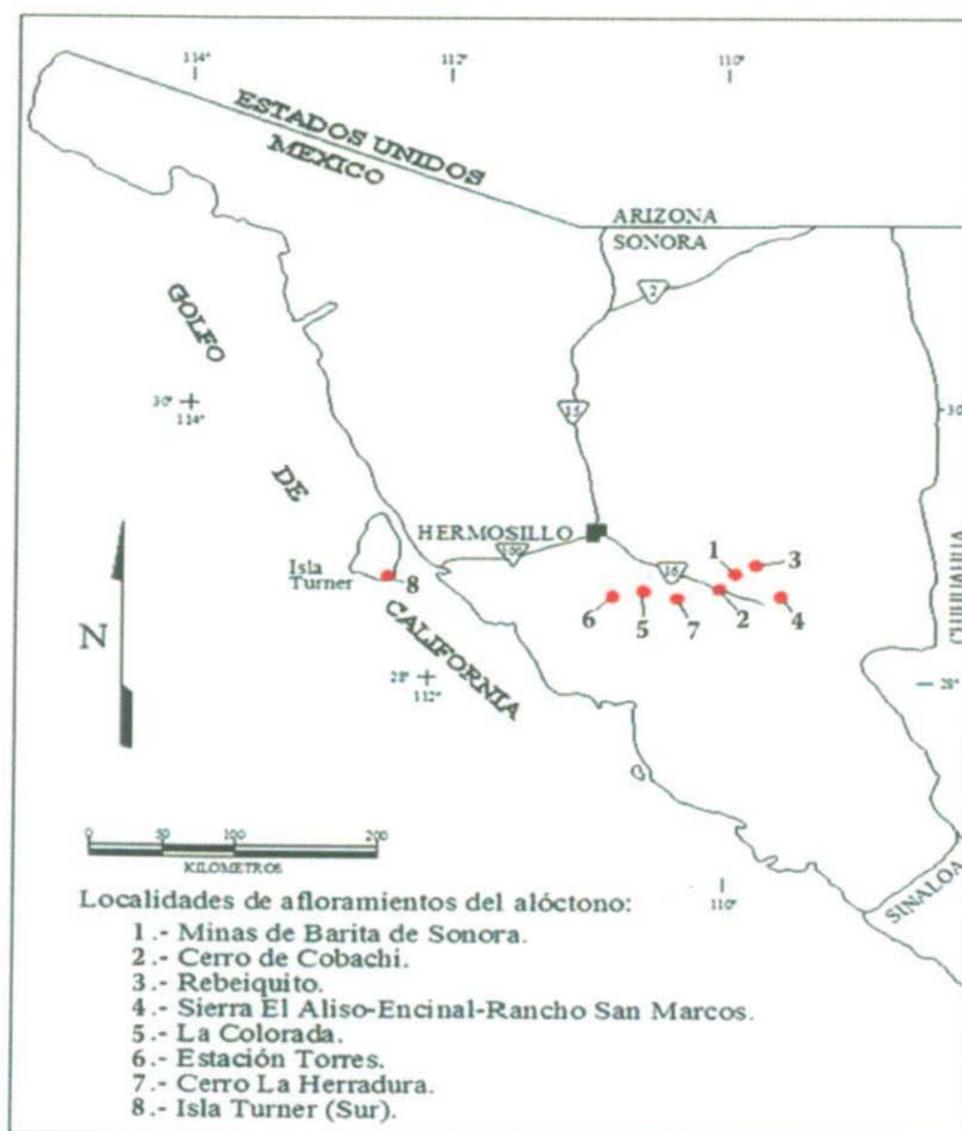
En resumen, a la formación Mina México se le asigna una edad del Pérmico Temprano–Medio con un espesor >1000 m compuesta de arenisca de cuarzo de grano fino a medio, depositadas en una cuenca tipo *foredeep*, con una tendencia general de los estratos en el área NE-NW, las cuales a su vez están siendo cubiertas estructuralmente mediante una cabalgadura por rocas de cuenca profunda o talud continental del Paleozoico alóctono de Sonora.



**Figura 6.-** Sección esquemática B-B' orientada SW-NE, realizada en parte de Cerro Las Rastras y parte de la Sierra Martínez.

Los depósitos de cuenca en Sonora central están representados por un conjunto de afloramientos eugeoclinales del Paleozoico (Figura 7), generalmente se maneja un rango de edad entre el Ordovícico Temprano al Pérmico Medio, que fueron depositados en ambientes marinos profundos más específicamente al interior de la plataforma sobre el talud continental.

En el área de estudio el mejor afloramiento de esta secuencia (eugeoclinal), se encuentra en los alrededores del área de la mina de Barita, 100 km aproximadamente al este de la ciudad de Hermosillo, y es un término utilizado para describir depósitos en ambientes marinos de talud continental o cuenca oceánica. En el área de estudio esta secuencia se encuentra cabalgando a las rocas de plataforma, que en la cima es cubierta de manera transicional y concordante por los estratos de arenisca de cuarzo de la formación Mina México. Se ha considerado generalmente que el contacto entre estas dos unidades (Eugeoclinal y Mioeoclinal) es por cabalgadura, relacionada con la Orogenia Sonora del Pérmico Tardío (Poole et al., 1995).



**Figura 7.-** Mapa que muestra alguna de la localidades de afloramientos del alóctono Paleozoico en Sonora (Modificado de Poole et al 2005).

El eugeoclinal se podría separar en dos grandes unidades estrato-litológicas (Figura 8), siendo la primera una secuencia pre-orogénica, asignándole una edad que va desde el Ordovícico hasta el Misisípico Medio, con un hiatus en el Silúrico; mientras que la segunda correspondería a una unidad sin-orogénica, cuya edad va desde el Misisípico Tardío hasta el Pérmico Medio (Poole et al., 2005).

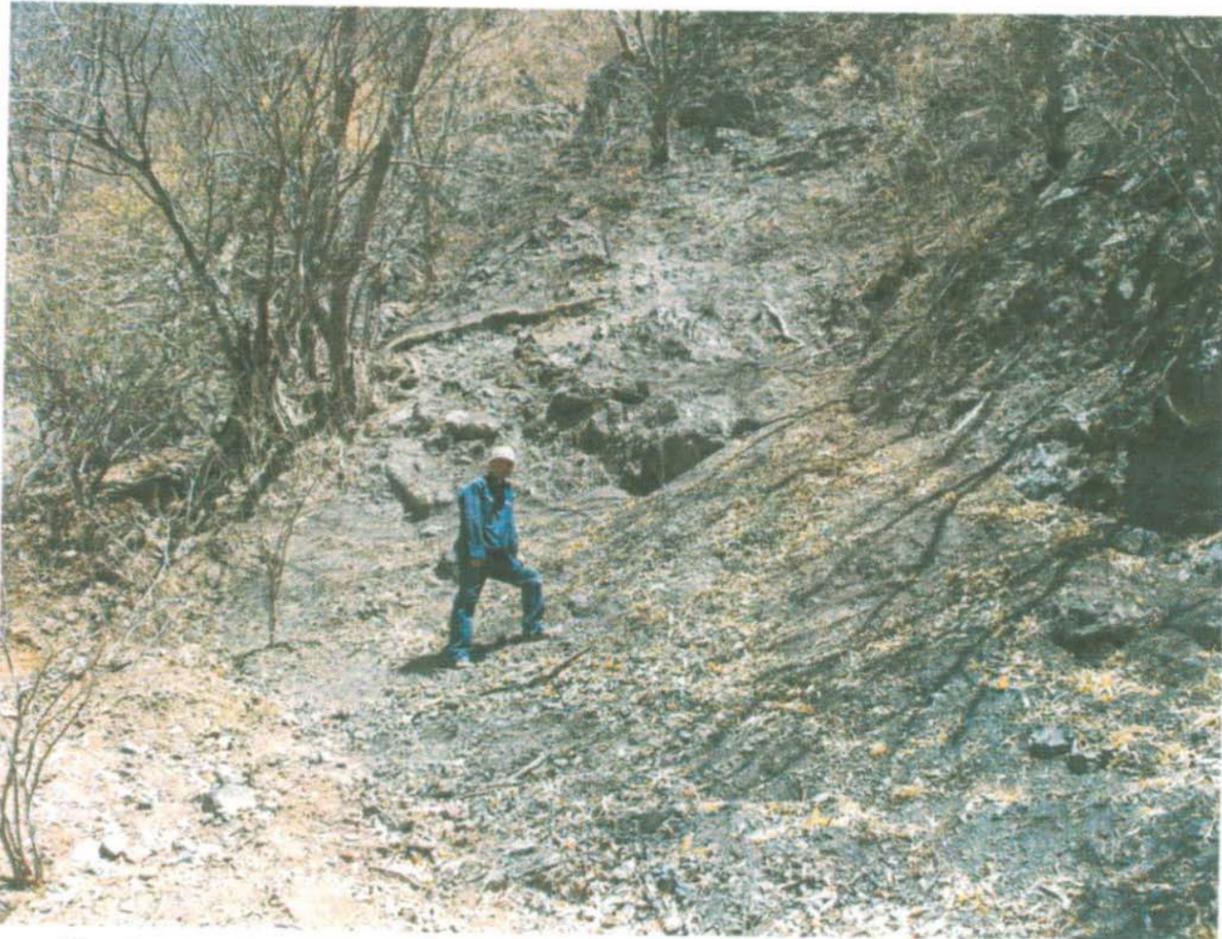


**Fotografía 5.-** Panorámica, viendo al NW, donde se pueden observar los lomeríos de baja altura de la secuencia alóctona, varios de ellos casi sin vegetación, debido a la presencia de mineralización de barita.

En el presente trabajo se realiza a continuación un breve resumen y descripción de este conjunto de secuencias, las cuales ya fueron mencionadas y definidas informalmente por diferentes autores en investigaciones previas, por lo que son aquí referenciadas con los nombres asignados previamente (por varios de los autores que ya las definieron).

## Lutita El Quemado

Esta es la base de la secuencia y la unidad más antigua del alóctono en el área, contiene graptolitos, filocaridos y conodontos los cuales indican una edad del Ordovícico Temprano. Consiste de estratos intercalados de lutita, limolita, arenisca, pedernal y caliza de más de 300 m de espesor, los cuales presentan una coloración rojiza oscura o anaranjada debido a la presencia de óxidos de fierro. Esta formación se representa en su mayor parte por estratos centimétricos de lutita carbonosa de color negro que muestra un intenso plegamiento, deformación y fracturamiento. En algunos afloramientos, la lutita se presenta con intercalaciones de estratos de argilita silicificada.



**Fotografía 6.-** Afloramiento de la Formación Lutita El Quemado. Localidad Rancho El Salto.

## **Lutita El Mezquite.**

Sobreyaciendo a la unidad anterior se encuentran 100 a 150 m de la Lutita El Mezquite, que consiste de una lutita negra-gris graptolítica, alternada con arenisca de grano muy fino, aunque esta última en menor proporción. Además de graptolitos es común encontrar también braquiópodos, orbiculoides y espículas de esponjas. La presencia e identificación de graptolitos nos indican una edad del Ordovícico Medio. Afloramientos típicos de esta litología y fauna la podemos encontrar al este del rancho Los Pozos y al norte del rancho Las Guásimas.



**Fotografía 7.-** Detalle de la Lutita el Mezquite, Localidad Rancho La Sierrita.

### **Pedernal El Yaqui.**

Está formada por 5 a 150 m de pedernal negro en estratos de 10 a 30 cm de espesor, intercalado con limolita graptolítica, esporádicas capas de caliza y en menor proporción, capas interestratificadas de limolita, dolomía y toba. También contiene abundantes radiolarios que son mayormente visibles en el pedernal. El contacto entre la Lutita El Mezquite y el Pedernal El Yaqui es gradacional y localmente interestratificado. Esta unidad se considera del Ordovícico Medio-Tardío.

### **Caliza El Torote.**

Sobreyaciendo a la formación anterior (de manera discordante y sin aflorar sus contactos) se tiene a la Caliza El Torote, que es una delgada caliza dolomítica a dolomía calcárea, que no sobrepasa los 8 m de espesor. Localmente contiene graptolitos del Ordovícico Tardío en la parte inferior, y en la parte superior consiste de conglomerados con intraclastos y flujos sedimentarios plegados que contienen conodontos de edad ordovícica.

Una discordancia mayor separa los estratos del Ordovícico Superior y los estratos del Devónico Superior, y dicha zona de contacto esta regularmente mineralizada con óxidos de fierro y manganeso.

### **Formación Los Pozos.**

Esta formación del Devónico Superior–Misisipico Inferior es una unidad con espesor entre 50 y 150 m que está constituida por intercalaciones de lodolita,

argilita, pedernal negro, gris y bandeado, arenisca turbidítica, barita exhalativa y turbidítica, y en menor proporción, por caliza y toba. La formación se caracteriza por contener cuerpos de barita estratiforme, así como también radiolarios y conodontos del Devónico Tardío y Misisípico Temprano. La barita fue depositada en múltiples sistemas turbidíticos de abanicos submarinos y se presenta en forma de rosetas y estratiforme. La fuente original de barita fueron numerosas chimeneas hidrotermales en el subsuelo marino (Poole et al., 1991).



**Fotografía 8.-** Detalle de la Formación Los Pozos, localidad: camino Llano Colorado-Rancho El Salto.

### **Caliza Cerro Tasajo.**

Esta unidad del Misisípico Inferior se presenta con un espesor variable, desde algunos centímetros hasta 75 m; corresponde principalmente a estratos de caliza turbidítica y en menor proporción niveles de pedernal, lutita, limolita, arenisca y conglomerado. Contiene conodontos del Misisípico Temprano. En muchas localidades esta unidad se encuentra ausente.

### **Conglomerado Los Chinos.**

Sobreyaciendo a la unidad anterior, evidencia de la discordancia regional, se deposita un conglomerado de color gris oscuro de <15 m de espesor y constituido por clastos subredondeados de pedernal y cuarcita en una matriz silíceica de color gris oscuro. Este conglomerado representa un rango de depósitos de deslizamiento de derrubios hasta depósitos turbidíticos. En localidades donde el conglomerado está ausente, probablemente este se erosionó, no se depositó o se encuentra desplazado por fallamiento. Muchos de los clastos de color gris oscuro derivan del Pedernal El Yaqui y la formación Los Pozos. Algunos clastos de caliza contienen conodontos del Devónico Temprano y su fuente probable es la plataforma carbonatada (Laurentia) que se ubica al norte del área.

### **Formación Rancho Nuevo.**

Esta formación corresponde a la parte superior de la secuencia alóctona y consiste en una potente unidad (> 1000 m) de lutita, limolita, pedernal y barita del Misisípico Superior, así como de estratos interestratificados turbidíticos de lutita,

limolita, arenisca, conglomerado, pedernal, barita, caliza y en menor proporción dolomía, del Pensilvánico Inferior-Superior y del Pérmico Inferior a Medio. Esta unidad contiene radiolarios, conodontos y fusulínidos.

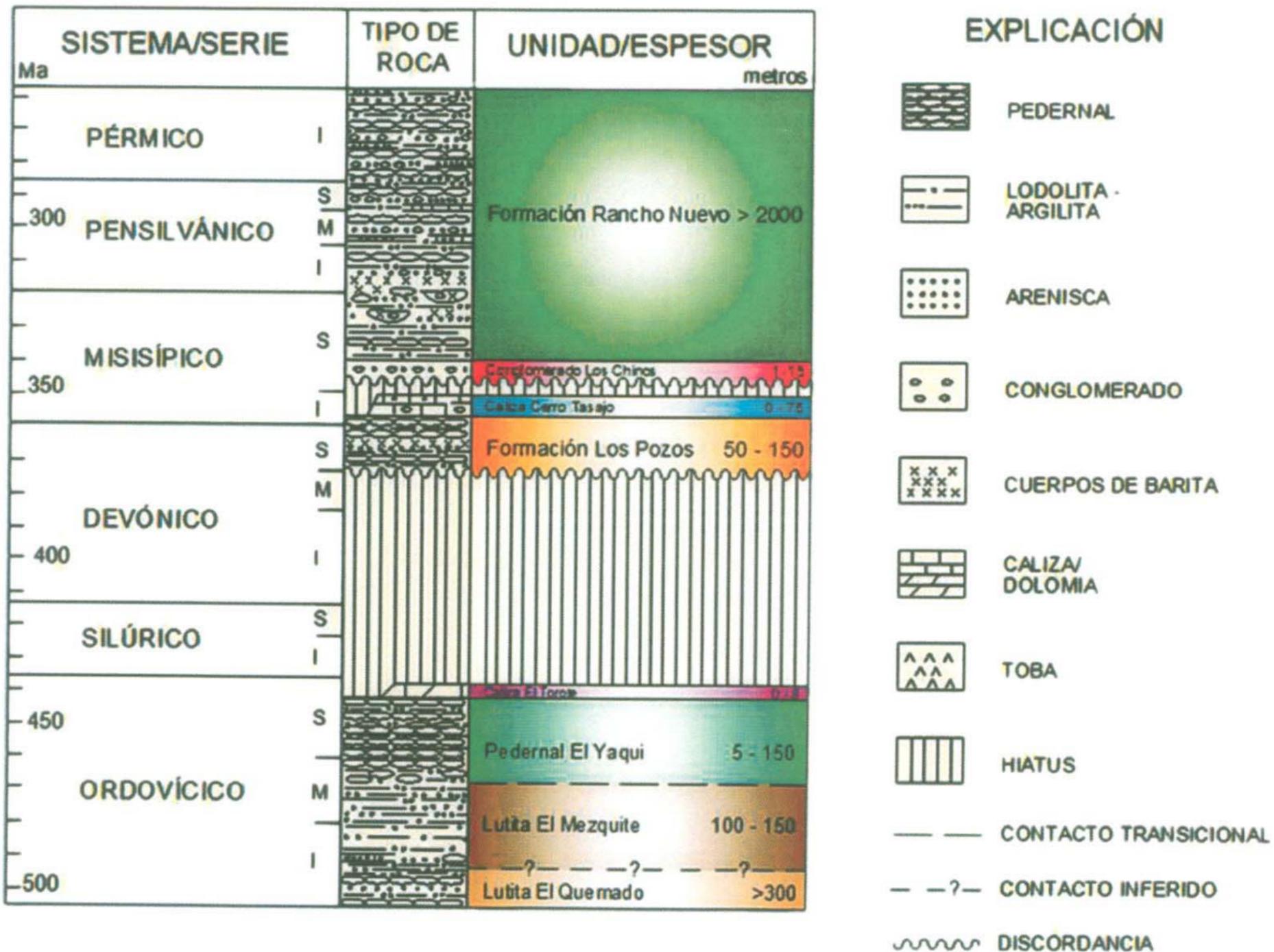


Figura 8.- Columna estratigráfica de la secuencia alóctona del área (Tomado y modificado de Poole et. al., 2005).

### 3.3.4.- Rocas Ígneas.

A partir del Cretácico Tardío se presenta en Sonora un intenso magmatismo, dividido en tres episodios principales: el primero de composición intermedia-ácida representados por cuerpos intrusivos, datados entre los 90 y 40 Ma (Damon et al., 1981), los cuales se extienden desde Baja California central hasta Sonora, mostrando una migración de edades hacia el este donde se encuentran los más recientes; el segundo se tiene durante el Paleoceno-Eoceno con el emplazamiento de un complejo volcánico-plutónico, mismo que es relacionado a una importante mineralización cuprífera en el NE de Sonora; y el tercero es por un episodio de composición ácida y corresponde a la edificación de la Sierra Madre Occidental con una extensión mayor a los 1500 Km, cubriendo discordantemente a secuencias paleozoicas, mesozoicas y paleocenas, asignándole un rango de edad entre los 40 a 20 Ma aproximadamente (Damon et al., 1981).

En el área de estudio la secuencia sedimentaria se encuentra afectada por la intrusión de grandes plutones granitoides del Terciario temprano. Estos plutones de grano medio a grueso son principalmente de composición granodiorítica, contiene muchos xenolitos de color oscuro y facies de tonalitas y monzodioritas calcoalcalinas, y aplitas de coloración clara, así como diques pegmatíticos calcoalcalinos de composición granítica. Los zircones de la granodiorita El Estribo, fueron datados en  $62 \pm 1$  Ma (Zartman R., en Poole et al., 1991).

Estas rocas aparecen como extensos afloramientos con forma de pequeños lomeríos que muestran una intensa alteración, principalmente al norte del cerro las

Rastras y al sur del rancho Las Guásimas.

En menor proporción, se tienen pequeños cuerpos de composición diorítica, sills y diques, a los cuales, de acuerdo con sus relaciones estratigráficas, se les asigna una edad del Eoceno.

En una localidad al este del cerro Los Novillos y al noroeste del área de estudio, aflora una secuencia de andesita y toba andesítica, con evidentes efectos de alteración hidrotermal, la cual cubre discordantemente y por contacto tectónico a rocas paleozoicas de cuenca. Esta secuencia volcánica se considera correlacionable con la Formación Tarahumara del Cretácico Superior.

### 3.4.- Correlaciones estratigráficas con otras áreas.

La geología del Paleozoico en la porción de Sonora central ha sido objeto de diversos estudios científicos, los cuales se enlistan y describen brevemente a continuación, con el objetivo de tener puntos de referencia y comparación entre éstos y el área de estudio (Figura 9). La mayoría de los trabajos se enfocaron principalmente en la determinación de las características estratigráficas, paleontológicas y tectónicas reconocidas en las distintas unidades litológicas expuestas en esta porción del Estado. Los resultados de dichos estudios pueden agrupar, generalmente, a las unidades descritas en un mismo contexto tectónico regional y un mismo contexto litológico y paleontológico.

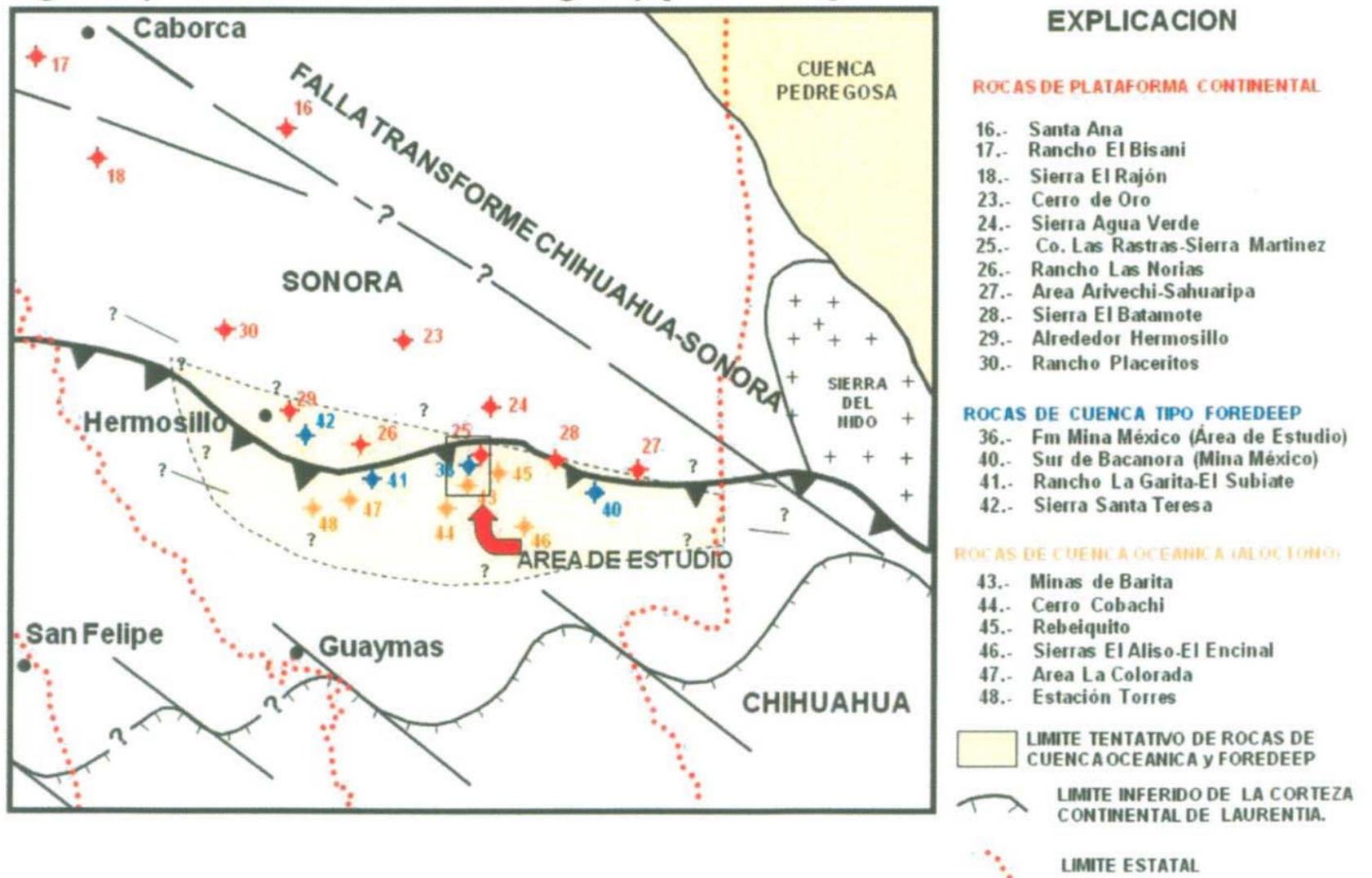


Figura 9.- Distribución de rocas de plataforma continental, cuenca tipo *foredeep*, y Paleozoico alóctono de Sonora Central (Modificado de Poole et al., 2005).

Bartolini (1988) en la Sierra El Aliso (Punto 46 en la figura 9) describe rocas del Ordovícico, Devónico, Misisípico y Pensilvánico del eugeosinclinal, y calizas turbidíticas con fusulínidos del Pérmico, probablemente correlacionable con los estratos turbidíticos de la formación Mina México. Las relaciones estratigráficas en esta área son difíciles de establecer ya que los contactos entre estas rocas son por falla. En las Sierras El Encinal, La Zacatera y La Campaneria (Schmidt, 1978; Hewett, 1978; Araux y Vega, 1985) se describe la formación Mina México como rocas siliciclásticas de grano fino de edad Pérmico (Wolfcampiano) con un espesor de 1000 m, que además incluyen limolitas turbidíticas y fósiles traza (*nereites*) de aguas profundas. Esta unidad se encuentra en contacto concordante con sedimentos de plataforma del Pérmico (formación La Cueva).

Stewart (1990) en la sierra La Flojera (Punto 29 en la figura 9) reporta una secuencia de caliza masiva de plataforma, de aproximadamente 100 m de espesor, con presencia de fusulínidos del Pérmico Temprano (Wolfcampiano). Esta secuencia es cubierta por un paquete de sedimentos clásticos de cuenca tipo “foredeep”, que son representados por limolitas, areniscas limosas, limolitas calcáreas y secuencias turbidíticas con presencia de fósiles traza (*nereites*).

En la sierra Santa Teresa (Punto 42 en la figura 9), Stewart reporta estratos de caliza y caliza arenosa con nódulos y capas de pedernal. En algunos niveles de la caliza se presentan fósiles como braquiópodos, crinoides, briozoarios, restos de algas, espículas de esponja, corales y ostrácodos. Este paquete de rocas tiene un espesor total de más de 1000 m, de los cuales, 600 m corresponden a rocas pensilvánicas que se encuentran en contacto por falla con rocas del Pérmico

(Peiffer, 1987). Stewart (1997) divide la estratigrafía de esta sierra en 7 unidades, en donde las primeras 5 corresponden a rocas del Misisípico Superior al Pensilvánico Medio, y representan paquetes de caliza de plataforma con un espesor de 1490 m y restos fósiles como crinoides, corales y braquiópodos.

Las unidades 6 y 7 corresponden al Pérmico Inferior (Leonardiano-Wolfcampiano) de aguas someras y profundas. La Unidad 6 constituye la unidad más resistente en la sierra Santa Teresa y por esto tiende a formar las partes más elevadas de la sierra. El espesor medido en dos secciones muestra una ligera variación, entre 112 a 122 m. Litológicamente esta unidad corresponde a estratos de calizas bioclásticas de plataforma con abundancia en crinoides, fusulínidos y lentes de pedernal. La unidad 7 está compuesta por calizas detríticas de grano medio y fino, incluyendo calizas limosas, areniscas calcáreas y limolitas de cuarzo; además presenta calcarenitas compuestas de fragmentos de pedernal, crinoides y fusulínidos, presentando un espesor aproximado de 610 m, y es correlacionable con la secuencia definida como formación Mina México.



**Fotografía 9.-** Fotografía que muestra en contacto transicional entre las rocas de plataforma y la secuencia turbidítica de la formación Mina México. Localidad Sierra Santa Teresa.

Pérez-Ramos (2001) realiza una sección no medida del cerro Prieto, el cual forma parte de la sierra Santa Teresa, reportando estratos de caliza compacta de color gris, estratificación delgada, muy fracturada y con nódulos y capas de pedernal, con fósiles como fusulínidos, crinoides, fragmentos de equinodermos, briozoarios, braquiópodos, restos de algas y ostrácodos; además interpreta que son calizas pérmicas de plataforma, en contacto gradual con una secuencia de aguas profundas, representadas éstas últimas por calizas grises masivas sobreyacidas por calizas arenosas y areniscas calcáreas rojizas a la base, y hacia la cima areniscas calcáreas brechadas con fragmentos fósiles de crinoides y fusulínidos mal preservados, calizas de grano grueso con fusulínidos, y en contacto abrupto, areniscas rojas de grano fino que presentan fósiles traza del género *nerites*. La edad de estas rocas es del Pérmico Temprano (Wolfcampiano-Leonardiano), asignada en base a la presencia de conodontos y algunos fusulínidos (Stewart et al., 1997).

Noll (1981) en el cerro Cobachi (Punto 44 de la figura 9) realiza un estudio geológico donde describe estratos del Paleozoico deformados por plegamiento, cabalgamiento y fallas de bajo ángulo. Divide esta secuencia en tres unidades estratigráficas:

1).- El Grupo Guayacán, que está conformado por lutitas, pedernal bandeado, barita estratiforme y en nódulos, calizas con presencia de graptolitos, corales y braquiópodos de edad Ordovícico al Devónico, con un espesor aproximado de 290 m. Estos estratos los considera como de un ambiente de cuenca o talud continental y los correlaciona a los descritos en los cinturones Antler y

Ouachita, al oeste y este de Estados Unidos.

2).- La Formación Picacho Colorado, constituida en la base por caliza con crinoides y fusulínidos (*Parafusulina sp.*) del Pérmico Inferior (Leonardiano), que los considera como de origen alóctono. La cima de la secuencia son rocas de plataforma autóctonas como calizas con abundantes crinoides, fusulínidos y pedernal, con un espesor aproximado de 1400 m.

3).- La Formación La Vuelta Colorada constituida por limolita, lutita, argilita, pedernal y barita en capas y nódulos, con contenido fosilífero como radiolarios, conodontos, fragmentos de crinoides y fusulínidos no identificados, con características que sugieren un tipo de depositación de carácter turbidítico. Esta formación tiene un espesor de 250 a 1200 m y la considera de edad Pensilvánico-Pérmico.

A continuación se presenta una figura con columnas estratigráficas esquemáticas de diferentes áreas de Sonora Central, donde se tienen reportes de rocas de plataforma, rocas de antecuenca (formación Mina México) y rocas del alóctono.

ERA (Ma)	SISTEMA/SERIE	MINAS DE BARITA		SIERRA SANTA TERESA	SIERRA AGUA VERDE
		Alóctono de Sonora	Antecuenca Mina México & plataforma de Laurentia	Antecuenca Mina México & plataforma de Laurentia	Plataforma de Laurentia
PÉRMICO	S	Sin Datos	Sin Datos	Sin Datos	Sin Datos
	M		?	Fm Mina México > 500	
	I			Caliza sin nombre 120	
PENSILVÁNICO	S	Fm Rancho Nuevo > 1000	Grupo Sierra Martínez (Calizas sin División) >2000	Caliza sin nombre > 1500	?
	M	Cgl Los Chinos 0 - 15			Caliza sin nombre > 688
MISISÍPICO	S			?	Caliza sin nombre > 783
	I	Cz Cerro Tasajo 0 - 75			
DEVÓNICO	S	Fm Los Pozos 50 - 150			Sin Datos
	M				
	I				
SILÚRICO	S				
	I	Cz El Torote 0 - 20			
ORDOVÍCICO	S	Pedernal El Yaqui 5 - 150	Cuarcita Peña Blanca 30		
	M	Lutita El Mezquite 100 - 150			Calizas sin nombre 898
	I	Lutita El Quemado > 300	Cz Pozo Nuevo > 1200		Calizas sin nombre 137
CÁMBRICO	S				Calizas sin nombre > 700
	M	Sin Datos	Calizas y dolomias sin División		Cuarcita Provedora > 120
	I				Esquistó-Cuarcita
NEOPROTEROZOICO		Sin Datos	Esquistó-Cuarcita	Sin Datos	Esquistó-Cuarcita

**Figura 10.-** Columnas estratigráficas generalizadas de las rocas pre-orogénicas, sin-orogénicas y rocas de plataforma en el área de las Minas de Barita; rocas sin-orogénicas y de plataforma en la Sierra Santa Teresa; y rocas de plataforma en el Cerro El Pollo en la Sierra Agua Verde (Tomado y modificado de Poole, F., Gehrels, G., y Stewart, J., 2008).

En cuanto a las correlaciones y similitudes de carácter litológico, estratigráfico y faunístico de las tres regiones más representativas del orógeno Ouachita-Marathon-Sonora propuesto por Poole et al (2005), se pueden resumir y mostrar en una columna generalizada de cada uno de los tres segmentos de este orógeno (Figura 11), haciendo énfasis principalmente en las rocas alóctonas de las tres diferentes regiones. La mayoría de los resúmenes estratigráficos de los segmentos de Ouachita y Marathon del sistema orogénico Ouachita-Marathon-Sonora son extraídos de varios autores como Ross (1979, 1986), Finney (1986), Lowe (1989), McBride (1989), Morris (1989), Ellison and Powell (1989),

Ethington et al. (1989), Noble (1990, 1993), Barrick and Haywa-Branch (1994), y Barrick y Noble (1995).

Las rocas paleozoicas (alóctonas) en las Montañas Ouachita, la región de Marathon, y en la región de Sonora central consisten principalmente en depósitos de talud continental de aguas profundas con escasos megafósiles, por lo que muchas de las edades fueron asignadas en base a microfósiles. Los radiolarios son comunes en la mayoría del pedernal paleozoico y en las unidades de lutita silíceas. Los conodontos se presentan escasamente en toda la secuencia paleozoica en estratos de caliza y capas de caliza turbidítica. Los graptolitos, filocaridos, orbiculoides y espículas de esponja son comunes en lutitas y limolitas del Paleozoico Inferior, y los fusulínidos regularmente se tienen en calizas de la plataforma continental (autóctono) y en calizas turbidíticas de grano grueso sin-orogénicas del Paleozoico Superior (capas dentro de la formación Mina México). En Sonora central, los braquiópodos (género *Dzieduszyckia*) y tubos de gusano asociados con respiraderos o filtraciones del suelo marino se presentan localmente en depósitos marinos profundos de barita del Devónico Superior.

El orógeno con un espesor 600-3000 m compuesto principalmente de pedernal, pizarra silícea, arenisca, y en menor proporción caliza pre-orogénicas de talud continental de edad Cámbrico Superior al Misisípico Inferior, representan una lenta acumulación del levantamiento continental y depósitos de ladera.

Edad (Ma)	SISTEMA/SERIES <sup>1</sup>	FACIES SEC	SONORA CENTRAL <sup>2</sup> AREA MINAS DE BARITA	REGIÓN DE MARATHON, TX <sup>3</sup>	MONT. OUACHITA, AR Y DORSAL BLACK KNOB, OK <sup>4</sup>	
PÉRMICO	S	Estratos Sinorogénicos	Sin datos	Skinner Ranch - Hess y Fm mas jóvenes	Sin datos	
	M		Fm Rancho Nuevo > 1000	Fm Lenox Hills 0 - 85	?	
I	Fm Neal Ranch 0 - 100					
300 PENSILVÁNICO	S		Fm Gaptank 0 - 815	Fm Atoka 2700 - 8500		
	M		Fm Haymond < 1400		Fm Johns Valley 125 - 300	
MISISÍPICO	S		Cgl Los Chinos 0 - 15	Cz Dimplpe 75 - 280	Gp Jackfork 350 - 2100	
	I		Cz Cerro Tazajo 0 - 75	Fm Tesnus 100 - 2000	Gp Stanley 1100 - 3350	
DEVÓNICO	S		Estratos Preorogénicos	Fm Los Pozos 50 - 150	Novaculita Caballos 30 - 210	Novaculita Arkansas 70 - 290
	M			Cz El Torote 0 - 8		
I	Pedernal El Yaqui 5 - 150				Fm Maravillas 30 - 150	Pedernal Bigfork 200 - 240
SILÚRICO	S	Lutita El Mezquite 100 - 150		Lt Woods Hollow 55 - 150	Lt Womble 100 - 1000	
	I	Lutita El Quemado > 300		Fm Fort Peña 40 - 200	Lm Blakely 100 - 180	
ORDOVÍCICO	S	Sin Datos		Lt Alsate 8 - 30	Lt Mazarn 300 - 1000	
	M			Fm Marathon 260 - 330	Lt Crystal Mtn 200	
500 CÁMBRICO	S	Sin Datos		Lm Dagger Flat 100 - 300	Lm Collier 20 - 300	
	I			Sin Datos	Sin Datos	

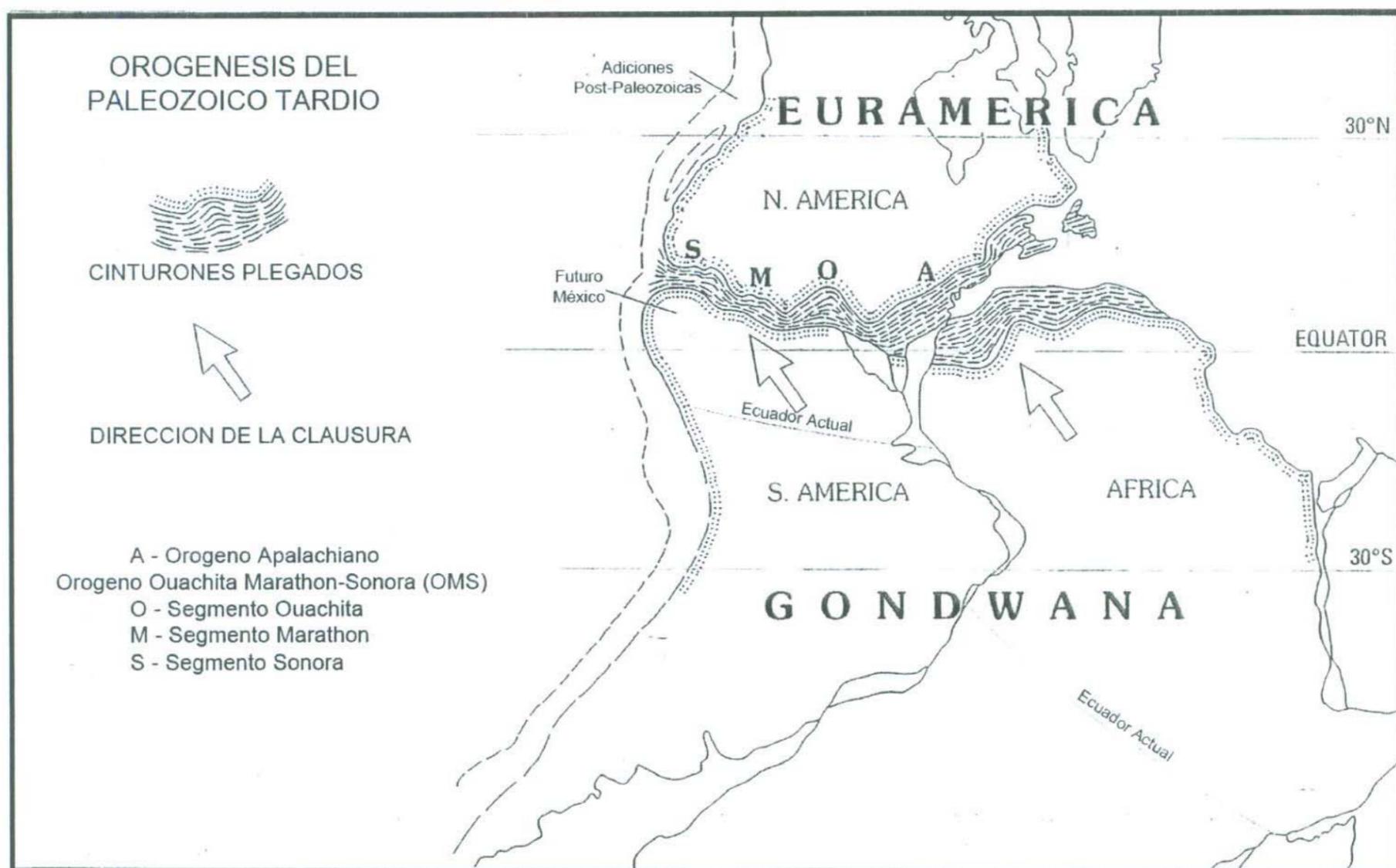
Figura 11.- Secciones estratigráficas generalizadas características de los segmentos Sonora, Marathon y Ouachita del sistema orogénico Ouachita-Marathon-Sonora (tomado y modificado de Poole et al., 2005).

#### IV.- CONTEXTO TECTÓNICO

Modelos evolutivos de los márgenes de Norte y Sur América debieron ser integrados a la geología de la región dentro de un marco cinemático definido para la reconstrucción continental del Paleozoico Tardío en el oeste de Pangea, y en un movimiento relativo posterior entre Norte y Sur América. Además, la forma en la que se realiza el cierre de la reconstrucción debe disponer de un reordenamiento coherente de las provincias tectónicas interpretadas y las zonas metamórficas de varios bloques continentales (Pindell, 1985).

Según Poole et al (2005) la reconstrucción de la placa-tectónica de Laurentia (Norteamérica) y Gondwana (Suramérica) muestran una colisión oblicua durante el Paleozoico Tardío de las rocas oceánicas del sistema orogénico Ouachita-Marathon-Sonora (OMS) que bordean el límite sur del Cratón de Norteamérica (Figura 12). Estos tres sectores del orógeno OMS se formaron durante este tiempo por una interacción y colisión oblicua del Cratón de Suramérica (Gondwana) y el Cratón de Norteamérica (Laurentia), dichos sectores están representados por capas plegadas y cabalgadas a lo largo de los márgenes adyacentes de estos dos paleo-continentes (Ross, 1978; Van der Voo et al., 1984 y Bally et al., 1989). Un fuerte movimiento rotacional entre Norte y Sur-América permitió el acercamiento y cierre de los continentes durante un largo periodo de tiempo (Johnson y Tarling, 1985). El acercamiento inicial ocurrió durante el Misisípico Temprano, que fue cuando hubo un intercambio de faunas, corroborados estos por fuertes similitudes entre las faunas de Norte y Suramérica (Boucot et al., 1997). Además, la proximidad de Laurentia y Gondwana entre el

Misisípico Tardío y el Pérmico, está registrada por el depósito de tobas volcánicas y secuencias volcanoclásticas del margen sur de Laurentia en el Grupo Stanley (Niem, 1977; Decatur y Rosenfeld, 1982; Loomis et al., 1994), en la Formación Tesnos (Imoto y McBride, 1990) y en la Formación Rara (Handschy y Dyer, 1987).

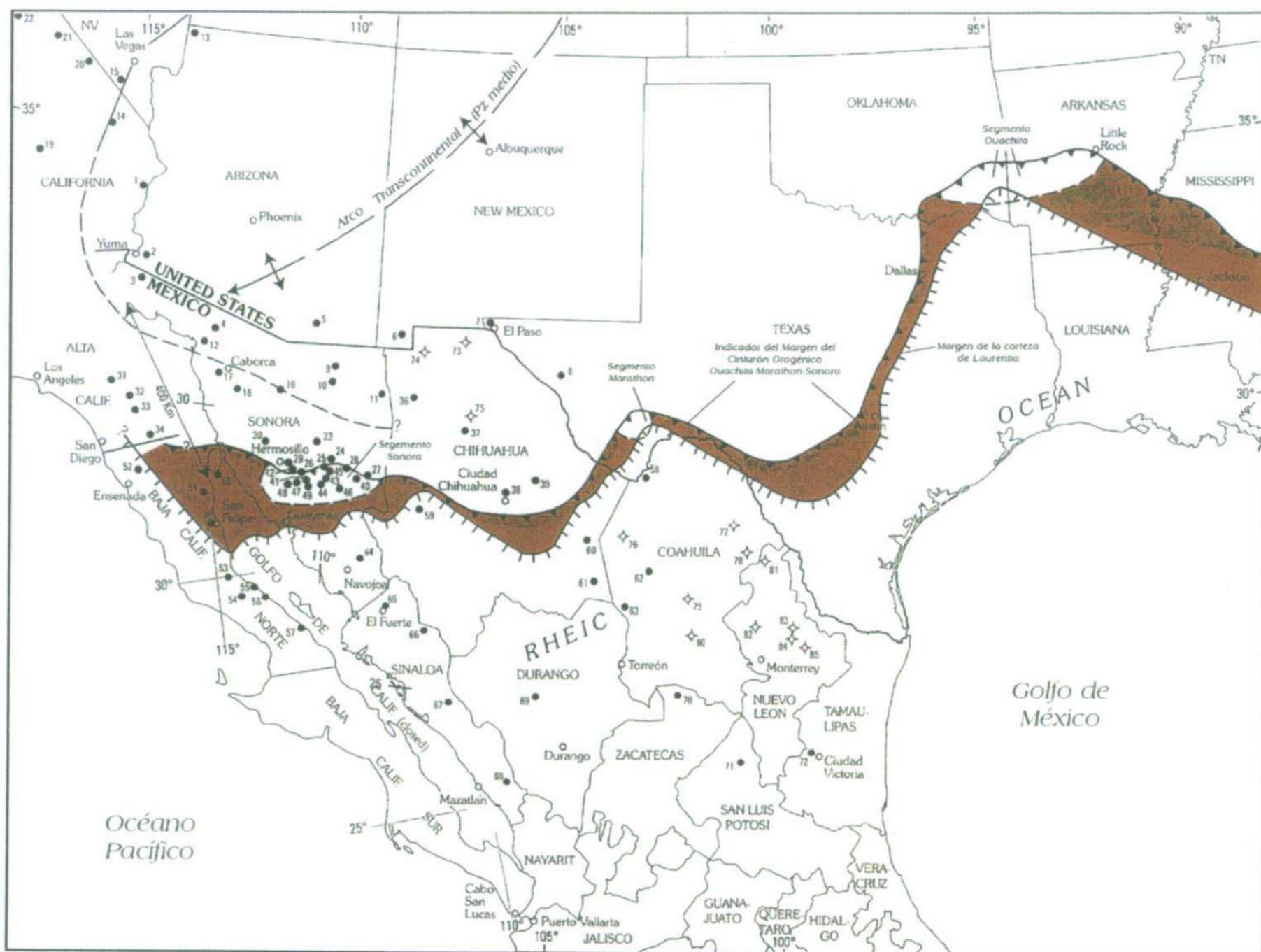


**Figura 12.-** Reconstrucción de la Placa-tectónica de Laurentia y Gondwana mostrando la colisión oblicua original y la sutura diacrónica del cinturón plegado y cabalgado del Paleozoico tardío a lo largo de los márgenes de Euroamerica y Gondwana. (Tomado y modificado de Ross, 1978; Van der Voo et al., 1984; Bally et al., 1989 y Poole et al., 2005).

También, un flujo riolítico y depósitos conglomeráticos del Pérmico Inferior en la Formación Plomosas en la parte Sur de la cuenca tipo “*foreland*” Pedregosa (Bridges, 1962, 1970; Armin, 1987) que indican un vulcanismo y actividad tectónica cercanos. En el margen norte de Gondwana, arcos volcánicos y alimentadores de plutones del Misisípico Tardío hasta el Pérmico en el terreno Coahuila-Las Delicias (López et al, 1996) y pórfidos riolíticos (Riolita Sabinas) del Pérmico Tardío (método Rb-Sr datado en  $255\pm 15$  Ma) o el área de levantamiento Sabinas del Pensilvánico Tardío (Nicholas y Waddel, 1989), indican que Gondwana estaba cerca de Laurentia (Euroamerica) durante el Paleozoico Tardío.

El orógeno paleozoico Ouachita-Marathon-Sonora se extiende continuamente a lo largo de ~3000 km desde el Golfo de California a lo largo del margen Sur de Laurentia durante el Misisípico. Las tres principales exposiciones de este orógeno del Paleozoico Tardío son las áreas de Ouachita, Marathon y Sonora. Estas exposiciones representan el 15% o menos del total del cinturón, que en su mayor parte está cubierto por rocas más jóvenes. Las rocas de facies de plataforma interna estuvieron cabalgando sobre el margen sur del cratón de Laurentia hasta Suramérica y asociadas a un terreno de arco que invadían a Norteamérica durante las etapas finales de la clausura del océano Reico (Scotese, 1997). Los datos geológicos indican que el sistema orogénico Ouachita-Marathon-Sonora del Paleozoico Superior siguió la forma del fallamiento del margen del cratón de Laurentia del Neoproterozoico – Paleozoico Temprano (Thomas, 1977; Poole y Perry, 1997, 1998).

La deformación comienza durante el Misisípico en los tres sectores y termina en el Pensilvánico Tardío en las Montañas de Ouachita, en el Pérmico Temprano en la región de Marathon, y en el Pérmico Tardío en Sonora. La rotación en sentido de las agujas del reloj de Suramérica durante la colisión oblicua con Norteamérica es correlacionable con la actividad diacrónica que es más joven hacia el oeste en la última etapa de la Orogenia, por ejemplo, el Pensilvánico Superior en las Montañas Ouachita, el Pérmico Inferior en la región de Marathon y el Pérmico Superior en Sonora (Poole et al., 2005). La sedimentación del flysch sin-orogénico del Pérmico Superior en el sector Sonora continúa por los menos hasta el Leonardiano. El sector Sonora del sistema orogénico Ouachita-Marathon-Sonora indica que el noroeste de Suramérica (Gondwana) estuvo al suroeste de Norteamérica (sur de Sonora central), y no se limita a las zonas del este (Terreno Coahuila), como comúnmente los representan en las reconstrucciones de Pangea (Poole y Perry, 1998).



**Figura 13.-** Mapa que muestra el sureste de Norteamérica (posición actual) y la reconstrucción con Baja California (400 km de la posición pre-Terciaria). También se muestra el arco Transcontinental del Paleozoico Medio y el borde del cinturón Orogénico Ouachita-Marathon-Sonora del Paleozoico tardío.

## V.- GEOLOGÍA HISTÓRICA.

La historia geológica del área inicio en el borde suroeste de Laurentia durante el Neoproterozoico con el depósito de estratos de arenisca de grano medio a grueso con intercalaciones de cuarcita, caliza y dolomía. Esta secuencia constituye lo que se considera el basamento Pre-cámbrico metafórico del área, sobre el cual se empezó a depositar, en el Cámbrico, la secuencia sedimentaria del miogeoclinal que aflora en gran parte de la Sierra Martínez, cerro Las Rastras y cerro Los Novillos. Mientras tanto, la sedimentación en facies del miogeoclinal fue pasiva, depositándose desde el Cámbrico Medio? hasta el Ordovícico Medio, espesores potentes de caliza y en menor proporción arenisca, hoy en día parte de esta arenisca ya metamorfizada a cuarcita (unidad correlacionable con Formación Peña Blanca). Durante el Silúrico y el Devónico Temprano a Medio se interrumpió la sedimentación, continuándose ésta a principios del Devónico Tardío, generando potentes espesores de caliza fosilífera. Ya para el Pérmico Temprano se empieza a depositar en una cuenca tipo *foredeep* (producto de las flexuras en la corteza) arenisca de cuarzo de grano fino a medio (formación Mina México).

Contemporáneo al depósito del miogeoclinal, se estuvieron depositando durante el ordovícico facies de un eugeoclinal, representados por estratos de pedernal, arenisca y lutita, con intercalaciones de caliza, limolita y dolomía. Así como ocurre en las facies del miogeoclinal, la sedimentación cesó durante el Silúrico y Devónico Temprano-Medio, continuando durante y Devónico Tardío y hasta el Misisípico Temprano, depositándose pedernal, lutita silíceas y capas de

barita estratiforme (asociadas probablemente a la presencia de fuentes hidrotermales); esta sedimentación fue graduando a facies más someras representadas por estratos de caliza del Misisípico Tardío (Caliza Cerro Tasajo). La sedimentación se interrumpió de nuevo entre el Misisípico Temprano y el Tardío, y durante esta última etapa se inicio el depósito del conglomerado de color gris oscuro con clastos de pedernal y cuarcita en una matriz gris oscura (conglomerado Los Chinos). Durante el Misisípico Tardío-Medio al Pérmico Medio se comienza a depositar una secuencia de lutita, lodolita, pedernal, dolomia y cuerpos de barita nodular y estratiforme.

Contemporáneo a este proceso depositacional, estuvo ocurriendo la clausura del Océano Reico, proceso responsable del desarrollo del Orógeno Ouachita-Marathon-Sonora en el suroeste del borde de la placa de Laurentia. Sobre esta placa (Laurentia) se estuvo subduciendo, avanzando hacia el norte, el arco marginal-continental de Gondwana (Poole et al., 2005).

## VI.- PETROGRAFÍA.

Durante las actividades de campo realizadas dentro del área de estudio y aprovechando los caminamientos y recorridos de secciones, se colectó un total de 75 muestras representativas de todas las unidades aflorantes.

Dentro de éstas se le dio preferencia, por cuestiones del enfoque temático de la tesis, a aquellas muestras que corresponden a las rocas siliciclásticas de la formación Mina México, y de manera particular en los niveles estratigráficos en donde se observaron variaciones en las características originales de la roca: granulometría, color, estratificación-laminación, diferencias en alteración, fósiles trazas, etc.

Del total de muestras colectadas se procesaron y elaboraron un total de 22 láminas delgadas. Las descripciones y observaciones de éstas se llevó a cabo utilizando un microscopio petrográfico binocular, con objetivo 4x y 3mm.

La información obtenida mediante estas descripciones petrográficas indica que en lo general, las rocas de la formación Mina México presentan características sedimentológicas muy similares. Las diferencias observadas se refieren básicamente a variaciones en el porcentaje, tamaño y forma de los gránulos de cuarzo y el carácter y porcentaje de la matriz; así como también, en la presencia y abundancia de material calcáreo, sobre todo en los niveles en donde se observó la presencia de estratos de calcarenita . Estas variaciones pueden atribuirse por una parte a los procesos diagenéticos mismos; así como también, al efecto de la

alteración asociada con el emplazamiento de los cuerpos intrusivos y diques-sills que intrusionan a estas rocas siliciclásticas y los diferentes estratos de la plataforma paleozoica.

## **6.1.- Descripción de láminas delgadas.**

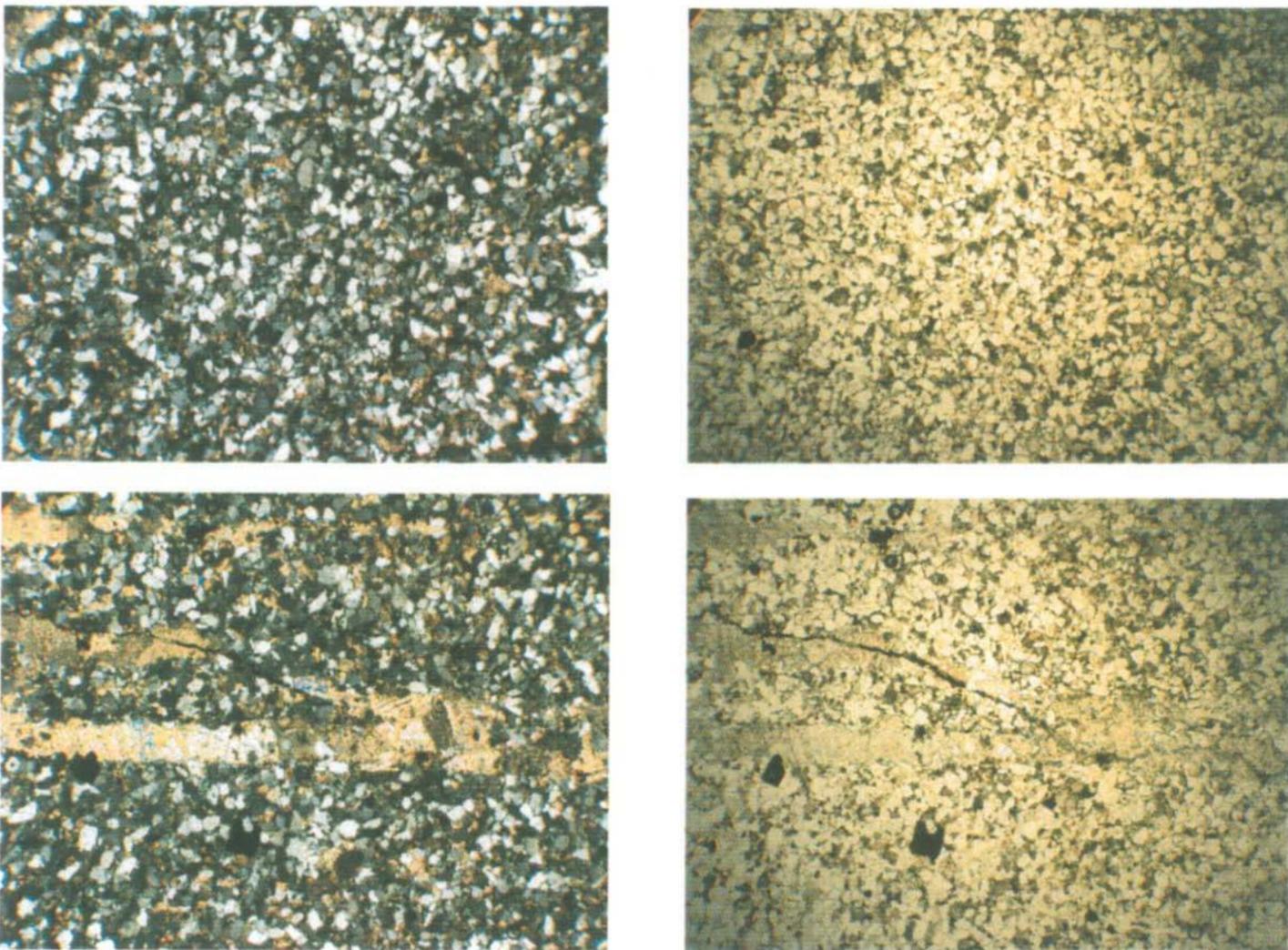
### **Rocas Sedimentarias.**

#### **Muestra #1:**

La roca presenta una mineralogía representada mayoritariamente por granos de cuarzo monocristalino (60 a 70%) y en menor proporción gránulos de feldespatos (15 a 20%), dentro de los cuales las plagioclasas muestran un reemplazamiento variable, moderado a avanzado, por minerales arcillosos y en menor proporción, sericita. El tamaño de los gránulos de cuarzo y feldespato es variable, en el rango entre 0.2 y 0.5 mm y en lo general, se observa que existe un predominio y frecuencia en la forma de los granos, normalmente de subangular a subredondeada, que sugieren una variación en la distancia de transporte de las partículas minerales, desde su fuente de origen, hasta su depósito. Estos granos se encuentran incluidos dentro de una matriz submadura arcillo-clorítica (5 a 10%), acompañada por óxidos de hierro (hematita principalmente), producto de la oxidación de sulfuros (pirita); además de un porcentaje bajo de sericita-muscovita (<1%). Esta muestra presenta láminas alternantes de bandas claras, con bandas más oscuras, producto de la variación en la granulometría; así como también la presencia y abundancia de los minerales arcillosos, óxidos de hierro, materia

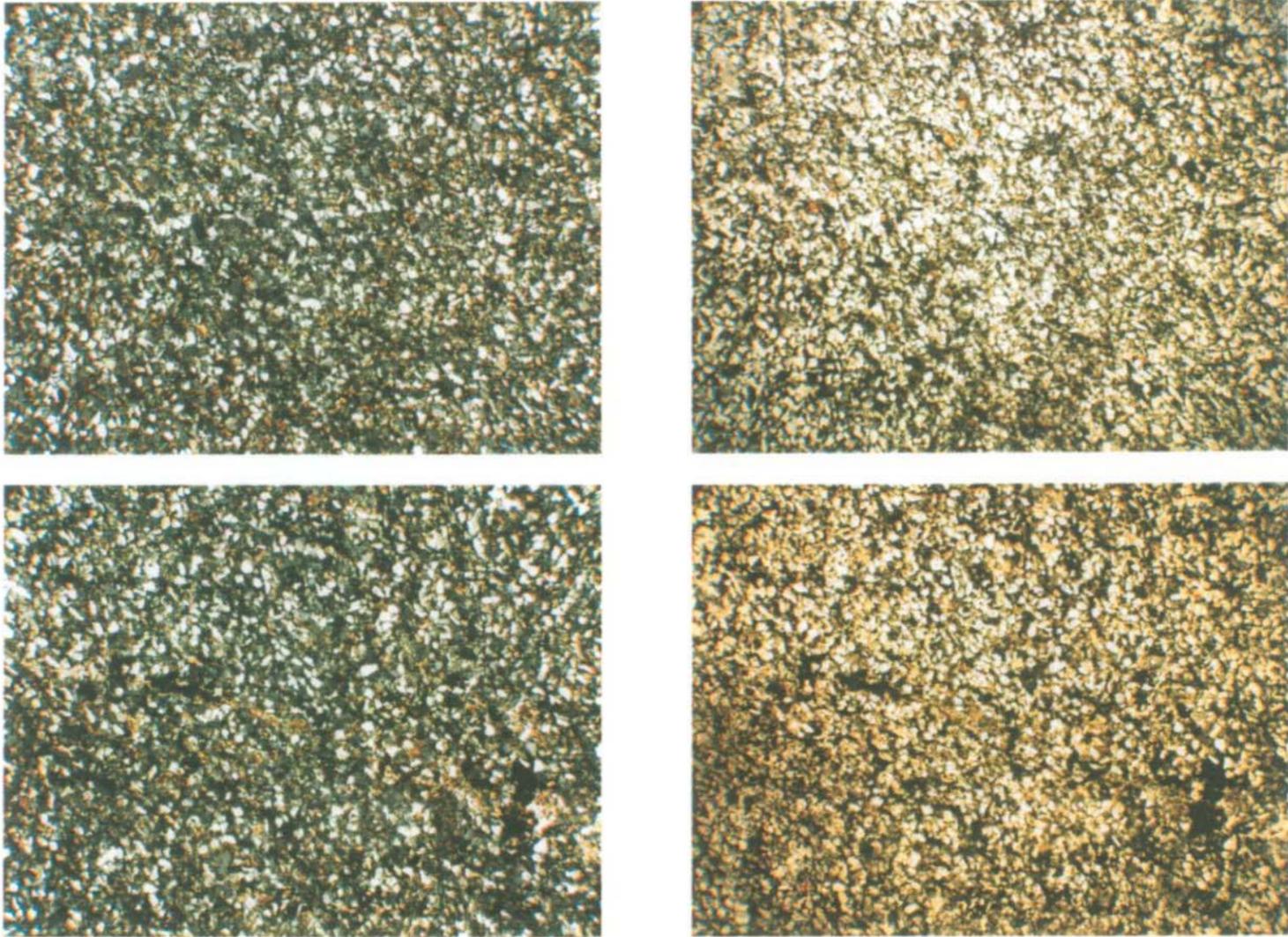
orgánica y cristales de calcita en la matriz. La roca presenta vetillas que son rellenas por óxidos de hierro y por calcita. Los minerales opacos de aproximadamente 0.05mm constituyen apenas el 1% y presentan igualmente formas subangulares a subredondeadas.

De acuerdo con los porcentaje de los granos presentes y utilizando el diagrama de Dott (1964), esta roca se clasifica como arenisca (arenita) de cuarzo, con la observación de que tomando en consideración el porcentaje de matriz presente; así como un incremento de ésta, sobre todo en las bandas de color más oscuro, esta roca tendería a transicionar a una wacka de cuarzo.



**Fotografía 10.-** (M # 1; objetivo 4x; vista 3 mm.) Arenisca de cuarzo, con transición a wacka de cuarzo, formación Mina México (Porción este de la Sierra Martínez).

observación de la muestra anterior: una propuesta transición (de acuerdo con el incremento del material de la matriz, sobre todo en las láminas de tonos oscuros) a una wacka de cuarzo.



**Fotografía 11.-** (M # 2; objetivo 4x; vista 3 mm.) Arenisca de cuarzo, con transición a wacka de cuarzo, formación Mina México (Localidad Sierra Martínez).

### **Muestra #3:**

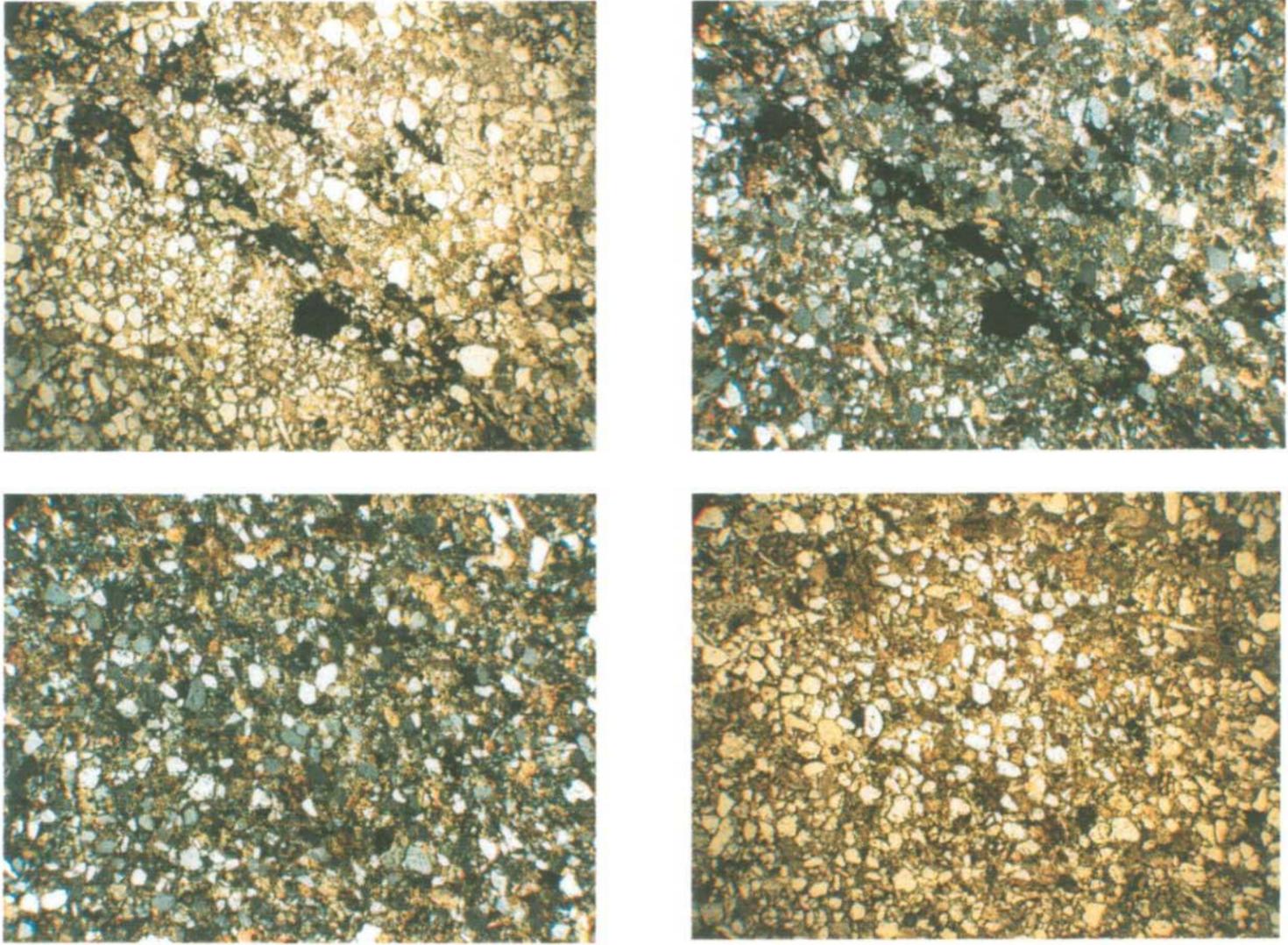
La roca presenta granos de cuarzo monocristalino ( 55 a 70%) y gránulos de minerales del grupo de feldespato (10 a 15%) potásico y plagioclasa, mostrando éstas últimas un reemplazamiento variable, incipiente a moderado, a minerales arcillosos y sericita. Las dimensiones de los granos de cuarzo y feldespato, en lo general, se estima en el rango entre 0.03 y 0.05 mm, existiendo franjas o bandas en donde es notorio un ligero incremento en los tamaños, tanto del cuarzo como de la fracción de óxidos de fierro. Los componentes minerales de la roca muestran una

tendencia de presentar formas que varían de subangulares a subredondeadas, definiendo una clasificación de mala a moderada, aunque se observan algunos granos de cuarzo que presenta formas más redondeadas, lo cual sugeriría variaciones en la distancia de transporte desde la fuente de origen.

Los granos de cuarzo y feldespato están incluidos embebidos dentro de una matriz arcillosa (10 a 15%), que contiene la presencia variable de sericita-muscovita, clorita, óxidos de fierro (hematita) y localmente microcristales de calcita.

Se tiene la presencia de minerales opacos dispersos en toda la muestra con tamaños que varían de entre 0.05 y 0.5 mm y al igual que el cuarzo y feldespato, una tendencia general de presentar formas subangulosas y subredondeadas. La presencia y disposición de los óxidos de fierro, en ciertas porciones de la muestra, tienden a desarrollar franjas-bandas o láminas en donde se observa una concentración de estos.

Las características mineralógicas y porcentuales determinadas en la muestra y utilizando el esquema clasificatorio de Dott (1964), esta roca se clasifica como una arenisca (arenita) de cuarzo, considerándose la opción de una transición a una wacka de cuarzo, de acuerdo con el porcentaje de la matriz.



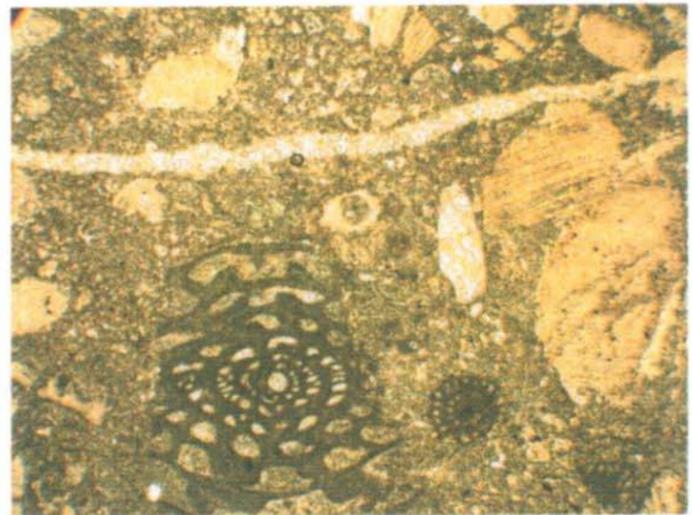
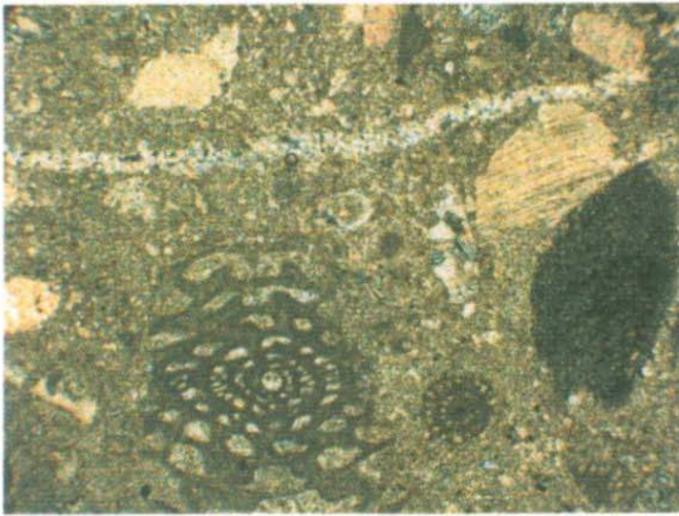
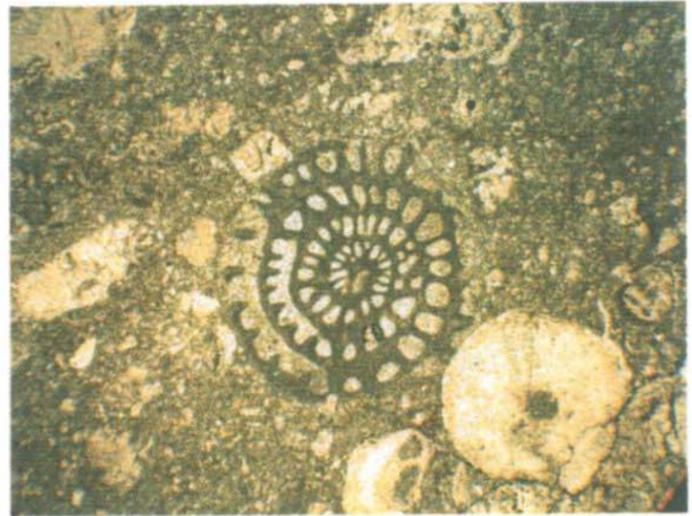
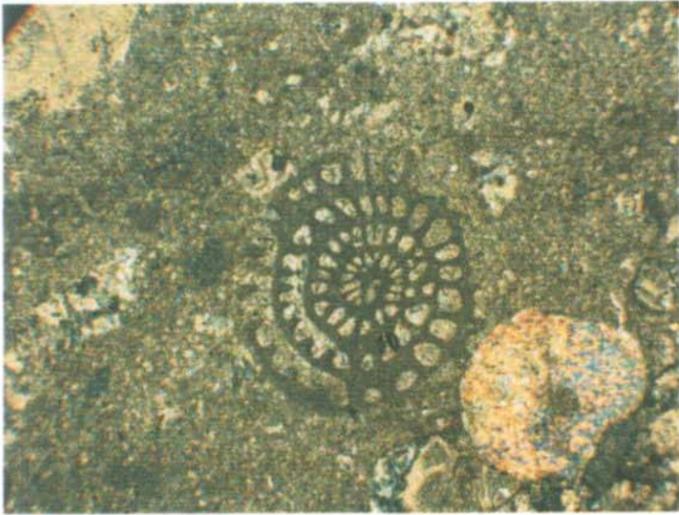
**Fotografía 12.-** (M # 3; objetivo 4x; vista 3 mm.) Arenisca de cuarzo, con transición a wacka de cuarzo, formación Mina México en contacto concordante y transicional con rocas carbonatadas de plataforma (Localidad Cerro Las Rastras).

#### **Muestra #4:**

La roca presenta fósiles del tipo de los fusulínidos y tallos de crinoides; así como también la existencia de estructuras que al parecer corresponden a tubos de anélidos rellenos de microcristales de calcita, embebidos en una matriz constituida de 90% de calcita y material arenáceo. La lámina está cortada por vetillas en todas direcciones rellenas de calcita. Los fusulínidos tienen dimensiones entre 3 y 5 mm debido a que los cortes sobre los fusulínidos corresponden a secciones transversales, no es posible la identificación de género y especie que permita la asignación de la

edad correspondiente, la cual por referencias de estudios anteriores, pudiera ser desde el Pensilvánico, hasta el Pérmico.

Por la mineralogía que se puede observar, y utilizando el diagrama de Dunham (1962) para la clasificación de rocas carbonatadas podemos clasificar a esta muestra como un packstone.



**Fotografía 13.-** (M # 4; objetivo 4x; vista 3 mm.) Packstone dentro de la formación Mina México, donde se observan en corte transversal fusulínidos y crinoides principalmente (Localidad, falda este cerro Las Rastras).

Esta roca intrusiva se clasifica como una Granodiorita de biotita y hornblenda.



**Fotografía 14.-** (M # 5; objetivo 4x; vista 3 mm.) Roca intrusiva granodiorítica El Estribo (Localidad Cerro Los Novillos).

### **Muestra #6:**

En esta otra microfotografía del intrusivo El Estribo se observan porcentajes, características mineralógicas y texturales similares descritas para la Muestra No. 5.

La diferencia notoria consiste en el grado de alteración y reemplazamiento que afectan a los cristales de plagioclasa, existiendo algunos en donde la abundancia de los cristales de sericita y minerales arcillosos prácticamente borran y ocultan las características originales. En la roca es notorio el desarrollo de una extinción ondulante en los cristales de cuarzo, lo que sugiere que esta roca intrusiva ha sido sujeta a esfuerzos. Por su parte, los ferromagnesianos, biotita y hornblenda, han sido totalmente reemplazados por clorita, óxidos de fierro, calcita, epidota y muscovita; esta última se considera la evidencia de una transformación completa de los cristales originales de biotita.

Esta roca intrusiva se clasifica como una Granodiorita de biotita y hornblenda.



**Foto 15.-** (M # 6; objetivo 4x; vista 3 mm.) Roca intrusiva granodiorítica El Estribo (porción sur cerro Los Novillos).

## VII.- PALEONTOLOGÍA Y FÓSILES.

La paleontología ha sido una herramienta de gran utilidad en este trabajo para la asignación de edades de las diferentes unidades que se presentan en el área, así como para su ubicación cronoestratigráfica, determinar espesores estratigráficos e interpretar ambientes de depósito.

Debido a la gran variedad y diversidad de fósiles encontrados en el área, solo se hace mención de los más importantes, que fueron determinantes para tener un mejor entendimiento de las edades y ambientes de depósito de las unidades. En el área se presentan tanto microfósiles como macrofósiles, dentro de los primeros podemos mencionar los radiolarios y conodontos, que aunque no son una herramienta eficiente en el campo para una rápida determinación de edades, debido a que no se pueden clasificar a simple vista, si fueron decisivos en la investigación del área, determinando edades y posición cronoestratigráfica de las diferentes unidades. En relación a los macrofósiles se encontraron gran variedad de ellos, tales como graptolitos, braquiópodos, corales, crinoides, briozoarios, pelecípodos y fusulínidos entre otros. A continuación se hace una breve descripción de algunos de ellos.

### **Graptolitos**

Estos fósiles presentes, en las formaciones El Mezquite, El Yaqui y El Torote, fueron de gran ayuda para entender la estratigrafía del área y obtener las edades de dichas formaciones, debido a que son fósiles índice del Ordovícico Tardío, principalmente.

Peiffer-Rangin et al. (1980) reportan la existencia de los géneros *Dicranograptus*, *Orthograptus* y *Climacograptus*, graptolitos encontrados en el área de Cobachi. Poole y Madrid (1988) reportan los géneros *Plegmatograptus*, *Dicellograptus*, *Glyptograptus*, *Cryptograptus* y *Pseudoclimacograptus*.

Los graptolitos encontrados en el área ocurren en lutitas negras carbonosas en forma de delgadas películas color blanco o gris-plateado de los géneros *Glyptograptus*, *Dicellograptus*, *Dicranograptus*, *Orthograptus*, *Cryptograptus*, entre otras (fotografía 12). También han sido observados en lutitas gris claro, ya sea como impresiones de película blanca o de óxidos rojizos (Verdugo, 1987).



**Fotografía 16.-** Graptolitos en lutitas negras de la Formación El Mezquite (ejemplares no identificados), colectados a 100 m al SE del Rancho El Salto, coordenadas 621265 E; 3206170 N; altitud 600 m.

## Braquiópodos

Se puede encontrar en el área de estudio una especie de braquiópodos del género *Dzieduszyckia*, que indica una edad del Devónico Tardío (Fammeniano), y que fue reportado por primera vez en México por Noll (1981), ya que antes solo se había encontrado en Polonia, Rusia, Marruecos y el estado de Nevada en Estados Unidos.

Se encuentran en limolitas y lutitas café rojizo, o como fragmentos desordenados y poco abundantes cementados en barita con arcillas (Verdugo, 1987). Algunos autores sugieren que las asociaciones de la barita con este rarísimo género de braquiópodos, puede reflejar sitios de vida cercanos a venteos hidrotermales en aguas profundas (Poole et al, 1991).

Phylum *Brachiopoda*, Familia *Dimerillidae*, Subfamilia *Halorellinae*, Género *Dzieduszyckia* y Especie Sonora es la clasificación sistemática que Noll (1981) determino para estos braquiópodos que fueron encontrados en esta región.

## Conodontos

La presencia de estos distintivos microfósiles, de morfología similar a pequeños dientes y de composición fosfática, contenidos en estratos calcáreos del Paleozoico hasta el Triásico, fueron referidos como conodontos y descritos por primera vez entre 1933 y 1944 por paleontólogos rusos. Debido a la escasa información en cuanto a su origen, taxonomía e importancia bioestratigráfica, estos

microfósiles fueron ilustrados y discutidos en detalle hasta el año de 1956. A partir de esta fecha y debido al avance de estudios micropaleontológicos sobre un buen número de localidades calcáreas conteniendo este tipo de fósiles, ha sido posible establecer un mejor entendimiento en relación a estos microfósiles, lo cual permite considerarlos como excelentes fósiles índices, a nivel de género.

Este tipo de microfósiles fueron reportados por primera vez en el área por Poole et al. (1995), y clasificados por la Dra. Anita G. Harris. Estos indican una edad del Misisípico Temprano y fueron colectados en afloramientos de calizas fosilíferas, en la cercanía del rancho Los Chinos. En lo general, este tipo de microfósiles han sido reportados en varias localidades donde existen afloramientos de la secuencia miogeoclinal, tal como es el caso de Sierra de López, rancho Placeritos, sierra Santa Teresa-La Flojera, cerro Las Rastras, Sierra Martínez, porción sur de Bacanora, entre otras varias más.

Aunque este tipo de fósiles se encuentran ampliamente distribuidos en el área son muy difíciles de reconocer en el campo debido a su tamaño casi microscópico, por este motivo, para poder recuperar los conodontos contenidos en estos niveles calcáreos es necesario disolver completamente la roca (Poole, 1988). Un criterio que es recomendable considerar al tomar muestras para la detección de conodontos es el de seleccionar aquellos niveles de caliza en donde exista la clara evidencia de otros fósiles (crinoides, briozoarios, fusulínidos, etc.), otro sería el de definir la presencia de estratos de turbiditas calcáreas con presencia de fósiles. Con estos criterios de muestreo, se incrementa la probabilidad de la presencia de conodontos, independientemente de que sean parte de la secuencia miogeoclinal o

estratos calcáreos intercalados dentro de la secuencia siliciclástica de la formación Mina México e incluso del paleozoico alóctono, particularmente en la Formación Rancho Nuevo.

Aparte de que estos microfósiles son de mucha ayuda para las determinaciones estratigráficas y del establecimiento de un zoneamiento bioestratigráfico, su utilidad práctica consiste en que estos microfósiles pueden resistir incrementos de temperatura hasta de 600°C, sin que se destruyan, únicamente experimentan un cambio de color. Esto ha permitido el establecer una Carta Índice de Color, que es utilizada por los especialistas para definir los rangos de temperatura a la que han sido expuestas las rocas que contienen a estos microfósiles.

La lista de géneros y especies que han sido reportados y descritos en las localidades antes referidas es muy extensa. Dentro de estos se pueden mencionar los siguientes: *Polygnathus linguiformis bultyncki* Weddige, *Icriodus latericrescens robustus* Orr, *Kladognathus tenuis* (Branson and Mehl), *Synclydogmathus geminus* (Hinde), entre otros.

## **Radiolarios**

Estos fósiles, aunque también casi microscópicos, se pueden observar en el campo a simple vista con ayuda de una lupa, principalmente en el pedernal negro y gris que acompañan a los estratos interestratificados turbidíticos de lutita, limolita, y areniscas de las formaciones asociadas con barita (Formación Los Pozos

y Formación Rancho Nuevo). Con generos de estos fósiles se pudo podido reconocer distintas edades del alóctono en el área, y lo que da una visión más clara de la estratigrafía presente. Además, debido a la gran similitud litológica y faunística entre la formación Mina México y la Formación Rancho Nuevo, este grupo de fósiles ha sido de gran utilidad para poder diferenciar en campo dichas unidades, ya que esta ultima contiene este tipo de fósiles y la primera no.

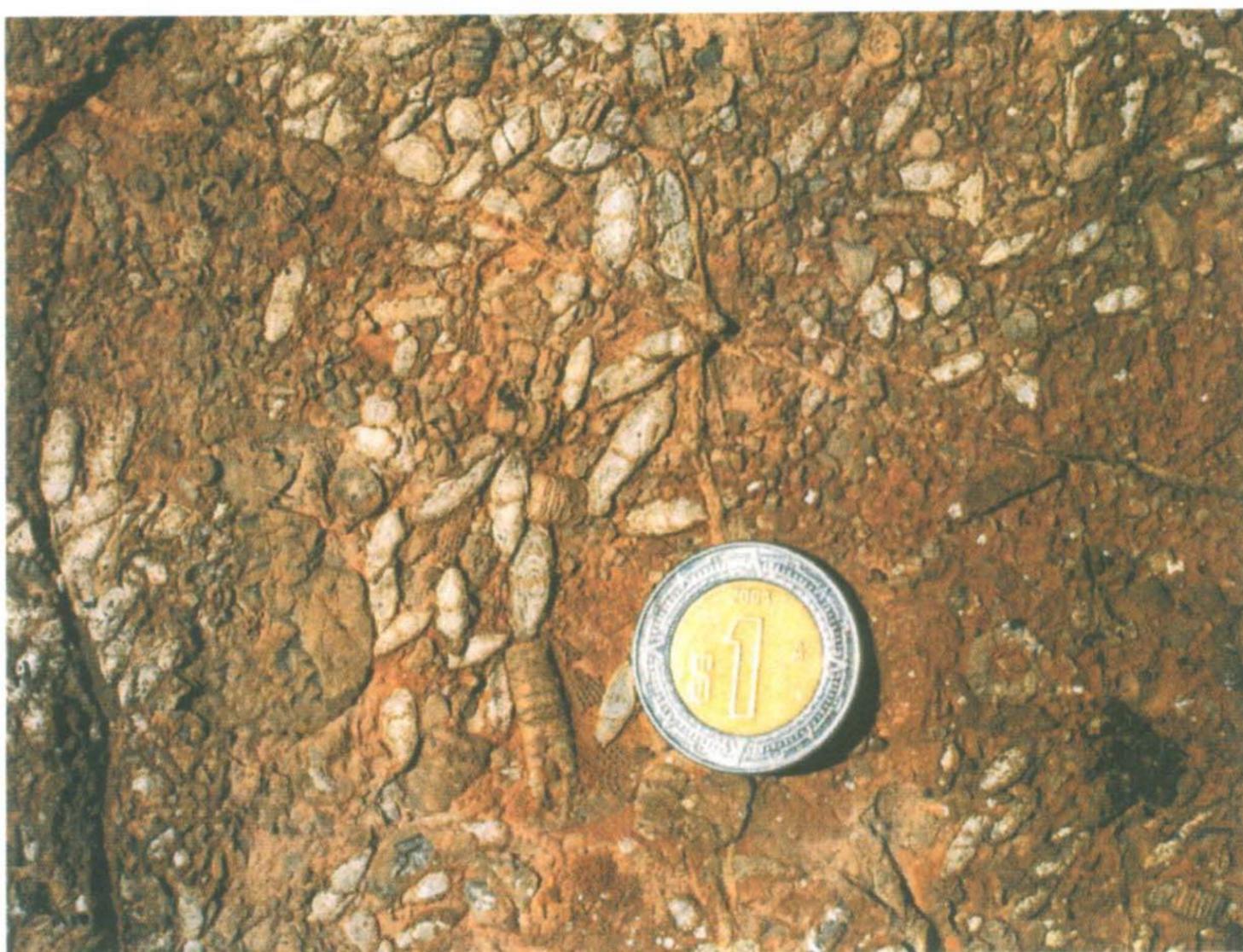
Se han reportado radiolarios del grupo *Albaillella-3* del Misisípico Tardío al Pensilvánico Temprano (Chesteriano al Morrowano) y otros del genero *Holoeciscus* del Devónico (Poole et al, 1988).

Esto es lo que se puede resumir en cuanto a los grupos de fósiles más importantes que se presentan en el alóctono (Eugeoclinal) del área, y que han sido de gran ayuda para definir edades y entender la estratigrafía tan compleja que se presenta.

### **Fósiles en las Rocas de Plataforma**

Existe otra gran variedad de fósiles que se presentan principalmente en las calizas de plataforma (miogeoclinal), tales como corales coloniales de la especie *Syringopora cf. S. tubifera Easton*, de probable edad Misisípico? a Pérmico; corales solitarios, del tipo *zafréntido*, de edad Devónico; así como gran cantidad de crinoides, braquiópodos, briozoarios, gasterópodos, algas, pelecípodos y fragmentos de trilobitas? (Orozco y Gutiérrez, 2006).

Sin embargo, el grupo de fósiles más importante y abundante en este tipo de rocas son los fusulínidos, fósiles índice del Pérmico Temprano-Medio, y los principales géneros y especies de éstos son: especies *Skinnerella sonoraensis*, *S. brevis*, *S. Formosa*, *S. cf. S. diabloensis* y *Parafusulina multisepta* (Magginetti et al, 1988); los géneros *Charalosschwagerina*, *Schwagerina*, *Cunicullinella* y *Occidentoschwagerina* del *Wolfcampiano* (*asselian-sakmarian*), así como *Eoparafusulina cf. E. mendenhalli*, *Eoparafusulina sp. B*, *Schwagerina sp. A* y *B* del Pérmico Temprano (Pérez-Ramos, 2001). Estos solo por mencionar a algunos de las muchas especies y géneros presentes en el área de este tipo de fósiles.



**Fotografía 17.-** Foraminíferos en calizas de plataforma del Pérmico Inferior, colectados en el área Sierra Martínez.

## VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La integración de la información generada durante las actividades realizadas, tanto de campo como de laboratorio en la elaboración de esta tesis permite plantear y establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### CONCLUSIONES:

1.- En el área de estudio fue posible observar y comprobar la relación estratigráfica entre las rocas siliciclásticas y turbidíticas (tipo *flysch*) de la formación Mina México, y las secuencias paleozoicas miogeoclinales (plataforma) y las eugeoclinales de cuenca profunda (alóctono). Con esto se corrobora documentado mediante investigaciones realizadas en varias localidades de Sonora central; tal como es el caso de secuencias aflorantes en las sierra Santa Teresa, Sierra Martínez, cerro Las Rastras y en la porción sur de Bacanora (Stewart, 1997; Amaya-Martínez, 2004 y Poole et al., 2005, entre otros).

2.- Se concluye que el depósito original de los sedimentos de la formación Mina México, al igual que en las localidades antes mencionadas, fue transicional y concordantemente sobre los sedimentos carbonatados pérmicos, los cuales representan la parte superior de la secuencia miogeoclinal o de plataforma.

3.- Se interpreta que el depósito de los sedimentos que forman la Mina México se efectuó en cuencas o depresiones tipo *foredeep*, sensiblemente orientadas este-oeste, que se generaron sobre la plataforma carbonatada, a consecuencia del choque entre Laurentia y Gondwana en el Pérmico Temprano.

4.- Se define también que posterior a este depósito, las rocas siliciclásticas y las de plataforma son cabalgadas por las rocas de cuenca profunda o cuerpos alóctonos paleozoicos en el Pérmico Tardío. Las relaciones estratigráfico-estructurales originales, producto de este evento tectónico, en algunas localidades han sido modificadas por los eventos tectónicos del Mesozoico y Terciario o bien, han sido cubiertas por rocas sedimentarias y volcánicas más jóvenes.

5.- De acuerdo con estas consideraciones, en concordancia con lo documentado en varias localidades en donde aflora este conjunto de secuencias litológicas, se concluye que el sobrecorrimiento tectónico de la secuencia paleozoica alóctona se efectúa sobre las rocas de la formación Mina México y no sobre los sedimentos de la plataforma carbonatada.

### **RECOMENDACIONES:**

Como es común en la mayoría de los trabajos de tesis, siempre quedan aspectos o actividades pendientes de considerar o realizar. De acuerdo con esto, considero conveniente plantear las siguientes recomendaciones:

1.- En la realización de una futura tesis, cuya temática y enfoque se relacione con este tipo de litologías, se recomienda que se consiga el apoyo para sufragar el costo de varias dataciones radiométricas, mediante el método U-Pb, que complemente y aporte nueva información, a la ya existente. Esto permitiría, de manera más confiable, establecer las comparaciones y correlaciones sedimentológicas, estratigráficas y radiométricas respectivas entre estas secuencias paleozoicas.

2.- Se requiere de una revisión de la información sedimentológica, estratigráfica y de edades en localidades previamente estudiadas, sobre todo en aquellas en donde afloran estas tres secuencias paleozoicas o al menos en donde ha sido documentada la presencia de las rocas paleozoicas de plataforma y afloramientos de sedimentos siliciclásticos turbidíticos, que pudieran corresponder con los de la formación Mina México.

3.- Promover e impulsar la realización de investigaciones o tesis en la porción norte de la Mina de Barita, en donde información preliminar (comunicación personal, Poole y Amaya, 2010), indica la presencia de afloramientos de rocas cuarcíticas, en parte conglomeráticas, de una probable edad Precámbrico - Cámbrico. De confirmarse esto, se tendrían elementos para reportar y documentar la existencia de rocas que corresponderían a la base o parte inferior de la secuencia miogeoclinal de la plataforma carbonatada en esta porción de Sonora central.

## IX.- BIBLIOGRAFÍA.

Amaya-Martínez, R., 2004, Geología actualizada de la porción sur de Bacanora; Reinterpretación de la Formación Mina México, Tesis de Maestría en Ciencias-Geología, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, 85 p.

Araux-Sánchez, E. y Vega-Granillo, R., 1985; Geología y Yacimientos Minerales de la Sierra La Campanería, Municipio de Bacanora, Sonora Central. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, p.159.

Araux- Sánchez, E. y Vega-Granillo, R., 1987; Estratigrafía del Paleozoico en el área del Rancho Las Norias, Sonora Central. Bol. Depto. de Geología, Universidad de Sonora, vol. 4, N° 1 y 2, p. 41-50.

Armin, R. A., 1987; Sedimentology and tectonic significance of Wolfcampian (Lower Permian) conglomerates in the Pedregosa basin: Southeastern Arizona, southwestern New Mexico, and northern Mexico, Geological Society of America Bulletin, v.99, no. 1, p.42-65.

Bally, A. W., Scotese, C. R., and Ross, M. I., 1989; North America; Plate-tectonic setting and tectonic elements, in Bally, A. W., and Palmer, A. R., eds., The Geology of North America-An overview: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. A, chapter 1, p. 1-15.

Barrera-Moreno, E. y Domínguez-Perla, E., 1987; Geología de la carta Tónichi (H12D65) con énfasis en el Paleozoico, porción central del Estado de Sonora. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 52 p.

Barrick, J. E., and Haywa-Branch, J. N., 1994; Conodont biostratigraphy of the Missouri Mountain Shale (Silurian-Early Devonian?) and the Arkansas Novaculite (Devonian), Black Knob Ridge, Atoka Country, Oklahoma, in Suneson, N. H., and Hemish, L. A., eds., Geology and resources of the eastern Ouachita Mountains frontal belt and southeastern Arkoma basin, Oklahoma: Oklahoma Geological Survey Guidebook 29, p. 161-177.

Barrick, J. E., and Noble, P. J., 1995; Early Devonian conodonts from a limestone horizon in the Caballos Novaculite, Marathon uplift, west Texas: Journal of

Paleontology, v. 69, no. 6, p. 1112-1122.

Bartolini, C., 1988; Regional structure and Stratigraphy of the Sierra El Aliso, central Sonora, México: M.S. thesis, University of Arizona, 189 p.

Boucot, A. J., Blodgett, R. B., and Stewart, J. H., 1997; European Province Late Silurian brachiopods from the Ciudad Victoria area, Tamaulipas, northeast México, in Klapper, G., Murphy, M. A., and Talent, J. A., eds., Paleozoic sequence stratigraphy, biostratigraphy, and biogeography; Studies in honor of J. Granville ("Jess") Johnson: Geological Society of America Special Paper 321, p.273-293.

Bridges, L. W., II, 1962; Geology of Mina Plomosas area, Chihuahua, México [Ph.D. thesis]: Austin, Texas, University of Texas at Austin, 241 p.

Bridges, L. W., II, 1970; Paleozoic history of the southern Chihuahua tectonic belt, in Seewald, K. and Sundeen, D., eds., The geologic framework of the Chihuahua tectonic belt; Symposium in honor of Professor Ronald K. DeFord: Midland, Texas, West Texas Geological Society, p.67-74.

Damon, P. E., Shafiqullah, M., and Clark, K. F., 1981; Age Trend of Igneous Activity in Relation to Metallogenesis in the Southern Cordillera. Relation of Tectonic to Ore deposits in the southern cordillera. Vol. XIV Arizona Geological Society Digest.

Decatur, S. H., and Rosenfeld, J H., 1982; Mississippian radioactive marker beds in West Texas and their possible relationship to the Ouachita orogeny: Geological Society of America Abstract with Programs, v. 14, no. 3, 109 p.

DeCelles, P., Giles K., 1996; *Foreland basin systems*. Basin Research 8, p.105-111.

Dott, R. H., Jr., 1964; Wacke, greywacke and matrix – What approach to immature sandstone classification?: Jour. Sed. Petrol., V. 34, p. 625-632.

Dumble, E.T., 1900; Notes on the geology of Sonora, Mexico; American Institute of Mining Engineers Transactions, v.29, p.122-152.

Dunham, R. J., 1962; Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E. Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1. pp. 108-121.

Ellison, S. P., Jr., and Powell, J. D., 1989, Tesnus (Mississippian) conodonts, Brewster Country, Texas in Ziegler, W., ed., Papers on Ordovician to Triassic conodonts: 1<sup>st</sup> International Senckenberg Conference and 5<sup>th</sup> European Conodonts Symposium (ECOS V), Contribution III, Courier Forschungsinstitut Senckenberg, v. 117, p. 359-373.

Ethington, R. L., Finney, S. C., and Repetski, J. E., 1989, Biostratigraphy of the Paleozoic rocks of the Ouachita orogen, Arkansas, Oklahoma, west Texas, in Hatcher, R. D., Jr., Thomas, W. A., and Viele, G. W., eds., The Appalachian-Ouachita orogen in the United States: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. F-2, chapter 17, p. 563-574.

Finney, S. C. 1986; Graptolite biofacies and correlation of eustatic, subsidence, and tectonic events in the Middle to Upper Ordovician of North America: *Palaios*, v. 1, no. 5, p. 435-461.

Handschy, J. W., and Dyer, R., 1987; Polyphase deformation in Sierra del Cuervo, Chihuahua, México: Evidence for Ancestral Rocky Mountain tectonics in the Ouachita foreland of northern México: *Geological Society of America Bulletin*, v. 99, no. 5, p. 618-632.

Hewett, R.L., 1978; Geology of the Cerro La Zacatera area, Sonora, Mexico [M.S. thesis]: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, 99 p.

Imlay, R. W., 1939; Paleogeographic studies in northeastern Sonora: *Geological Society of America Bulletin*, v. 50, no. 11, p. 1723-1744.

Imoto, N., and McBride, E.F., 1990; Volcanism recorded in Tesnus Formation, Marathon uplift, Texas, in Laroche, T. M., and Higgins, L., eds., Marathon thrust belt: Structure, stratigraphy, and hydrocarbon potential: 1990 Field Seminar, West Texas Geological Society, Permian Basin Section, Society of Economic Paleontologists Society, p. 93-98.

Johnson, G. A. L., and Tarling, D. H., 1985; Continental convergence and closing seas during the Carboniferous, in Tarling, D. H., chairman, Symposium no. 7, Continental plate reassemblies for the Carboniferous: *Compte Rendu-10<sup>th</sup> Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère* (Madrid, Spain, 1983), v. 4, p. 163-168.

Ketner, K. B., 1986; Eureka Quartzite in Mexico?—tectonic implications: *Geology*, v. 14, no. 12, p. 1027-1030.

King, R.E., 1939; Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico; *Geological Society of America Bulletin*, v.50, no.11, p.1625-1722.

Loomis, J., Weaver, B., and Blatt, H., 1994; Geochemistry of Mississippian tuffs from the Ouachita Mountains, and implications for the tectonics of the Ouachita orogen, Oklahoma and Arkansas: *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, no. 9, p. 1158-1171.

Lopez, R., Jones, N. W., Cameron, K. L., and Hernández, C., 1996; The pre-Jurassic evolution of the Coahuila terrane, México: No evidence of a major change in magmatic source during the course of the Ouachita orogeny (*Transactions, American Geophysical Union*), v. 77, no. 46, p.F759-F760.

Lowe, D. R., 1989; Stratigraphy, sedimentology, and depositional setting of pre-orogenic rocks of the Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma, in Hatcher, R. D., Jr., Thomas, W. A., and Viele, G. W., eds., *The Appalachian-Ouachita orogen in the United States*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, *The Geology of North America*, v. F-2, chapter 18, p. 575-590.

Magginetti, R., Stevens, C., and Stone, P., 1988; Early Permian Fusulinids from the Owens Valley Group, east central California: *Geological Society of America, Special Paper 217*, 61 p.

McBride, E. F., 1989, Stratigraphy and sedimentary history of pre-Permian Paleozoic rocks of the Marathon uplift, in Hatcher, R. D., Jr., Thomas, W. A., and Viele, G. W., eds., *The Appalachian-Ouachita orogen in the United States*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, *The Geology of North America*, v. F-2, chapter 20, p. 603-620.

Menicucci, S., 1975; Reconnaissance géologique et minière de la region entre Hermosillo et le Rio Yaqui, Sonora Central, Mexique. These, 3ème cycle, Grenoble, 210 p.

Montijo-González, A. y Terán-Ortega, L.A, 1988; Geología del área de Rebeico con énfasis en el Paleozoico. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 94 p.

Noll, J.H., Jr., 1981; Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, Mexico [M.S. thesis]: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, 165 p.

Morris, R. C., 1989, Stratigraphy and sedimentary history of post-Arkansas Novaculite Carboniferous rocks of the Ouachita Mountains, in Hatcher, R. D., Jr., Thomas, W. A., and Viele, G. W., eds., The Appalachian-Ouachita orogen in the United States: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. F-2, chapter 19, p. 591-602.

Nicholas, R.L., and Waddell, D. E., 1989; The Ouachita system in the subsurface of Texas, Arkansas, and Louisiana, in Hatcher, R. D., Jr., Thomas, W. A., and Viele, G. W., eds., The Appalachian-Ouachita orogen in the United States: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. F-2, chapter 23, p. 661-672.

Niem, A. R., 1977; Mississippian pyroclastic flow and ash-fall deposits in the deep-marine Ouachita flysch basin, Oklahoma and Arkansas: Geological Society of America Bulletin, v. 88, no. 1, p. 49-61.

Noble, P. J., 1990; Radiolarian biostratigraphic: Evidence for an Early Mississippian basin-wide hiatus at the Caballos-Tesnus boundary, Marathon basin, Texas, in Laroche, T. M., and Higgins, L., eds., Marathon thrust belt: Structure, stratigraphy, and hydrocarbon potential: Midland, Texas, West Texas Geological Society and Permian Basin Section, Society of Economic Paleontologist and Mineralogists Field Seminar, p. 83-91.

Noble, P. J., 1993; Paleocenographic and tectonic implications of a regionally extensive Early Mississippian hiatus in the Ouachita system, southern mid-continental United States: Geology, v. 21, no. 4, p. 315-318.

Orozco-Grajeda, D., Gutierrez-Acosta, M., 2006; Bioestratigrafía y Paleogeografía del Paleozoico Superior del Centro-Este del Estado de Sonora, México. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 118 p.

Peiffer-Rangin, F., 1979; Les zones isopiques du Paleozoique inférieur du Nord-ouest Mexican: témoignage du relais entre les Appalches et la Cordillère ouest américaine, C.R. Aca. Sc. Paris, t.288 série D-57.

Peiffer, F., 1987; Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northwestern and central Sonora: Ph. D Thesis: 3 Parc Universidad de París, France, 109 p. (unpublished).

Peiffer-Rangin, F., Echavarrri-Perez, A., Salas-Pizá, G., and Rangin, C., 1980; Sur la présence de l'Ordovicien à graptolites dans le nord-ouest de Mexique: C. R. Academy of Science, Paris: Series D, v.290, p.13-16.

Peña-Quijada A., 2007; Marco Regional y Principales Zonas Mineralizadas de la Porción Sur-Este de la Carta Bacanora (H12D55), en Sonora Central. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 82 p.

Pérez-Ramos, O., 2001; Bioestratigrafía del Pérmico en Sonora y consideraciones paleobiogeográficas, UNAM, tesis doctoral, sin publicar, 173 p.

Pindell, J. L., 1985; Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of México, Bahamas, and proto-Caribbean: Tectonics, v. 4, no. 1, p. 1-39.

Poole, F.G., Amaya-Martinez, R., Page, W. R., 2000; Silurian and Devonian carbonate-shelf rocks and Lower Jurassic sequence near Rancho Placeritos, west-central Sonora : Field guide for Field Trip 2 (March 4, 2000), Fourth symposium on the geology of northwest México and adjacent areas (March 6-8, 2000), Center for the Arts, University of Sonora, Hermosillo, México, 24 p.

Poole, F.G., Gehrels G. E., Stewart J. H., 2008; Significance of detrital zircons in Upper Devonian ocean-basin strata of the Sonora allochthon and Lower Permian synorogenic strata of the Mina México foredeep, central Sonora, México: The Geological Society of America, Special Paper 442, p. 122-128.

Poole, F.G., and Madrid, R. J., 1988; Comparison of Allochthonous Paleozoic eugeoclinal rocks in the Sonoran, Marathon, and Antler orogens: Geological Society of America Abstract with Programs, v.29, no. 7, p.A267.

Poole, F.G., Madrid, R. J., and Olivia-Becerril, J. F., 1991; Geological setting and origin of stratiform barite in central Sonora, México, in Raines, G. L., Lisle, R. E., Schafer, R. W., and Wilkinson, W. H., eds., Geology and ore deposits of the Great Basin: Reno, Nevada, Geological Society of Nevada Symposium Proceedings, v. I, p. 517-522.

Poole, F.G., Perry, W. J., Jr., 1997; The late Paleozoic Ouachita-Marathon-Sonora orogenic system along the southern margin of North America: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 29, no. 2, 43 p.

Poole, F.G., Perry, W. J., Jr., 1998; Laurentia-Gondwana continental margins in northern México, and their late Paleozoic collision, in Program and Abstracts for Conference on Laurentia-Gondwana connections before Pangea (IGCP Project 376): Oaxaca City, Oaxaca, México, October 1998, 27 p.

Poole, F.G., Perry, W. J., Jr., Madrid, R. J., y Amaya-Martinez, R., 2005; Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events and plate-tectonic model. Geological Society of America, Special Paper 393, p. 543-596.

Poole, F. G., Stewart, J, H., Berry, W. B. N., Harris, A. G., Repetski, J. E., Madrid, R. J., Ketner, K. B., Carter, C., and Morales-Ramirez, J. M., 1995; Ordovician ocean basin rocks of Sonora, México, in Cooper, J. D., Droser, M. L., and Finney, S. C., eds., Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System: Fullerton, California, Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, p. 277-284.

Radelli, L., Menicucci, S., Mesnier, H.Ph., Araux-Sanchez, E., Calmus, T., Amaya-Martínez, R., Barrera-Moreno, E., Domínguez-Perla, J.E., Navarro-Martínez, L.A., y Soto-Contreras, L.A., 1987; Allochthonous Paleozoic bodies of Central Sonora. Bol. Depto. de Geología, Universidad de Sonora, vol. 4, N° 1 y 2, p. 1-15.

Ross, C. A., 1979; Late Paleozoic collision of North and South America: *Geology*, v. 7, no. 1, p. 41-44.

Ross, C. A., 1978; Late Pennsylvanian and Early Permian sedimentary rocks and tectonic setting of the Marathon geosynclines, in Mazzullo, S. J., ed., *Tectonics and Paleozoic facies of the Marathon geosynclines, West Texas: Permian Basin Section*, Society of Economic Paleontologist and Mineralogist Publications 78-17, p. 89-93.

Ross, C. A., and Ross, J. R. P; 1986; Paleozoic paleotectonics and sedimentation in Arizona and New México, in Peterson, J. A., ed., *Paleotectonics and sedimentations in the Rocky Mountain region, United States*: American Association of Petroleum Geologist Memoir 41, p. 653-668.

Scotese, C. R., 1997; Paleogeographic atlas, PALEOMAP Progress Report 90-0497: University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, 45 p.

Scotese, C.R., and Golonka, Jan, 1993; PALEOMAP, Paleogeographic atlas: PALEOMAP Progress Report 20, Arlington, Tex., Department of Geology, University of Texas at Arlington, 35 p.

Scotese, C. R., and McKerrow, W.S., 1990; Revised World maps and introduction, in McKerrow, W. S., and Scotese, C. R., eds., *Paleozoic paleogeographic an biogeography*; London, Geological Society Memoir no.12, p.1-21.

Schmidt, G.T., 1978; Geology of the northern Sierra El Encinal, Sonora, Mexico [M.S. thesis]: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, 80 p.

Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., Stam, R.G., Wardlaw, B.R., Stanley, J.D., Jr., and Stevens, C.H., 1997; Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in Sierra Santa Teresa, Sonora, México: Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.14, núm. 2, p. 115-135.

Stewart, J. H., Poole, F. G., Ketner, K. B., Madrid, R. J., Roldan-Quintana, J., and Amaya-Martinez, R., Tectonics and stratigraphy of the Paleozoic and Triassic southern margin of North America, Sonora, México, in Gehrels, G. E., and Spencer, J. E., eds., *Geologic excursions through the Sonoran Desert region*,

---

Bonhommet, N., eds., Plate reconstruction from Paleozoic paleomagnetism: American Geophysical Union Geodynamics Series, v. 12, p. 11-26.

Verdugo-Harita, A., 1987; Reconocimiento Geológico-Económico de los Depósitos de Barita del área "Las Guásimas" Municipio de Villa Pesqueira Sonora Central. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 90 p.