

01179  
Zej.  
4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO SEDIMENTOLOGICO Y DIAGENETICO DEL  
ORDOVICICO-PERMICO TEMPRANO DE LA REGION  
CENTRO-ORIENTAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.

TESIS

Que para obtener el titulo de

MAESTRO EN INGENIERIA

Presenta:

José Ruiz Morales

Mexico, D.F. 1989

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

RESUMEN	Página
<b>I.- INTRODUCCION</b> .....	1
Localización del Area .....	1
Trabajos Previos .....	1
Objetivos .....	3
Metodología .....	4
<b>II.- ESTRATIGRAFIA</b> .....	6
A.- FORMACION SOSTENES .....	6
B.- FORMACION SOLIS .....	11
C.- FORMACION MONILLAS .....	14
D.- FORMACION PASTOR .....	16
<b>III.- DESCRIPCION DE SECCIONES MEDIDAS</b> .....	20
1.- Sección Placer de Guadalupe .....	20
2.- Sección Cerro de Enmedio .....	33
3.- Sección Cerro de Carrizalillo .....	47
<b>IV.- INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA SECUENCIA ESTUDIADA</b> ....	63
<b>V.- EVOLUCION SEDIMENTOLOGICA DEL ORDOVICICO     PERNICO TEMPRANO</b> .....	78
<b>VI.- ETAPAS Y AMBIENTES DIAGENETICOS IDENTIFICADOS EN LA     SECUENCIA ESTUDIADA</b> .....	82
a.- Ambientes diagenéticos y procesos involucrados .....	84
b.- Historia de sepultamiento .....	88
<b>VII.- DESCRIPCION E INTERPRETACION DE PROCESOS     DIAGENETICOS IDENTIFICADOS</b> .....	94
A.- Procesos diagenéticos .....	94
B.- Relaciones diagenéticas .....	119

a.- Paragénesis general del área de estudio .....	119
b.- Paragénesis general de las Formaciones estudiadas ..	120
c.- Eventos diagenéticos de cada formación por localidad	124
d.- Paragénesis general de las facies identificadas en el área de estudio .....	130
<b>VIII.- ASPECTOS ECONOMICOS .....</b>	<b>134</b>
<b>IX.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>136</b>
<b>X.- BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>139</b>

## = RESUMEN =

El área de estudio se encuentra aproximadamente a 120 km al noreste de la ciudad de Chihuahua y queda limitada por los paralelos 29° 09' 18" y 28° 55' de latitud norte y los meridianos 105° 11' y 105° 27' de longitud al oeste de Greenwich.

Los objetivos del presente trabajo consisten en el estudio sedimentológico y facies asociadas de la secuencia estratigráfica del Ordovícico-Pérmico Temprano; así mismo se analizan los procesos diagenéticos que afectaron a estos sedimentos. En el área de estudio, el Ordovícico lo constituye la secuencia calcáreo-arenosa de la Formación Sostenes, depositada en un ambiente de plataforma interna con influencia terrígena; el Silúrico está representado por los sedimentos de la Formación Solís, y se manifiesta con una variación de ambientes que van desde plataforma interna hasta facies de plataforma externa; marcando la continuación de un período transgresivo. Las facies que constituyen los sedimentos de la Formación Monillas en Placer de Guadalupe (Devónico Tardío-Misisípico Medio), presentan características de ambientes de plataforma externa, los cuales probablemente constituyan el borde de dicha plataforma como pequeños desarrollos de bancos de arenas calcáreas, mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo podría ser de plataforma interna o media. Durante el Pensilvánico Temprano y Pérmico Temprano se deposita la Formación Pastor, iniciando su desarrollo en un ambiente de plataforma media (lagunar), que gradúa hacia la cima a un

ambiente de plataforma interna con influencia terrígena, representando un período de exposición subaérea que se manifiesta por una discordancia en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio?

La secuencia estudiada se vio afectada por 13 procesos diagenéticos, algunos de los cuales se presentan en más de una ocasión dentro de la historia diagenética; dando como resultado un total de 31 eventos diagenéticos. En este estudio se pudieron discriminar los eventos regionales de los locales y aún aquellos eventos que se presentan en condiciones exclusivas. Debido a la complejidad tectónica del área no solamente existen repeticiones de procesos diagenéticos, sino también de etapas y ambientes diagenéticos. Dentro de este contexto paragenético se situó la presencia de hidrocarburos sólidos; con el fin de evaluar el potencial económico.

Desde el punto de vista económico-petrolero, las rocas del paleozoico presentan muy pocas posibilidades de encontrar hidrocarburos; ya que la historia de sepultamiento de estas rocas, muestra que salieron de la ventana de generación hace aproximadamente 110 millones de años (durante el Cretácico-Temprano).

## I.- INTRODUCCION

### A.- LOCALIZACION DEL AREA

El área de estudio, se localiza en la parte centrooriental del estado de Chihuahua, y aproximadamente a 120 Km al noreste de la ciudad de Chihuahua, queda limitada por los paralelos 29º 09' 18" y 28º 55' de latitud norte y los meridianos 105º 11' y 105º 27' de longitud al oeste de Greenwich (Fig. 1).

### B.- TRABAJOS PREVIOS

En el Área de estudio se han realizado diversos trabajos geológicos, contándose como los pioneros el de Burrows (1909) en el área de Mina Plomosas; en el cual define la Formación Plomosas en la que incluye a todos los estratos pre-Cretácicos en el área. Posteriormente King y Adkins (1946), sugieren que la Formación Plomosas sea restringida en edad, incluyendo solamente los estratos del Paleozoico.

Bridges (1962, en Dyer, en prensa) realiza un trabajo detallado de la geología de Mina Plomosas y Placer de Guadalupe, en el cual cartografía las unidades paleozoicas que afloran en el área y apoyado con trabajos bioestratigráficos, reconoce que dichas unidades varían en edad desde el Ordovícico Temprano al Pérmico Temprano, siendo estas rocas principalmente de plataforma.

Posteriormente Bridges (1965), subdividió las rocas del paleozoico en 5 unidades asignándoles nombres formacionales, siendo estas unidades las Formaciones Sóstenes, Caliza Solís,

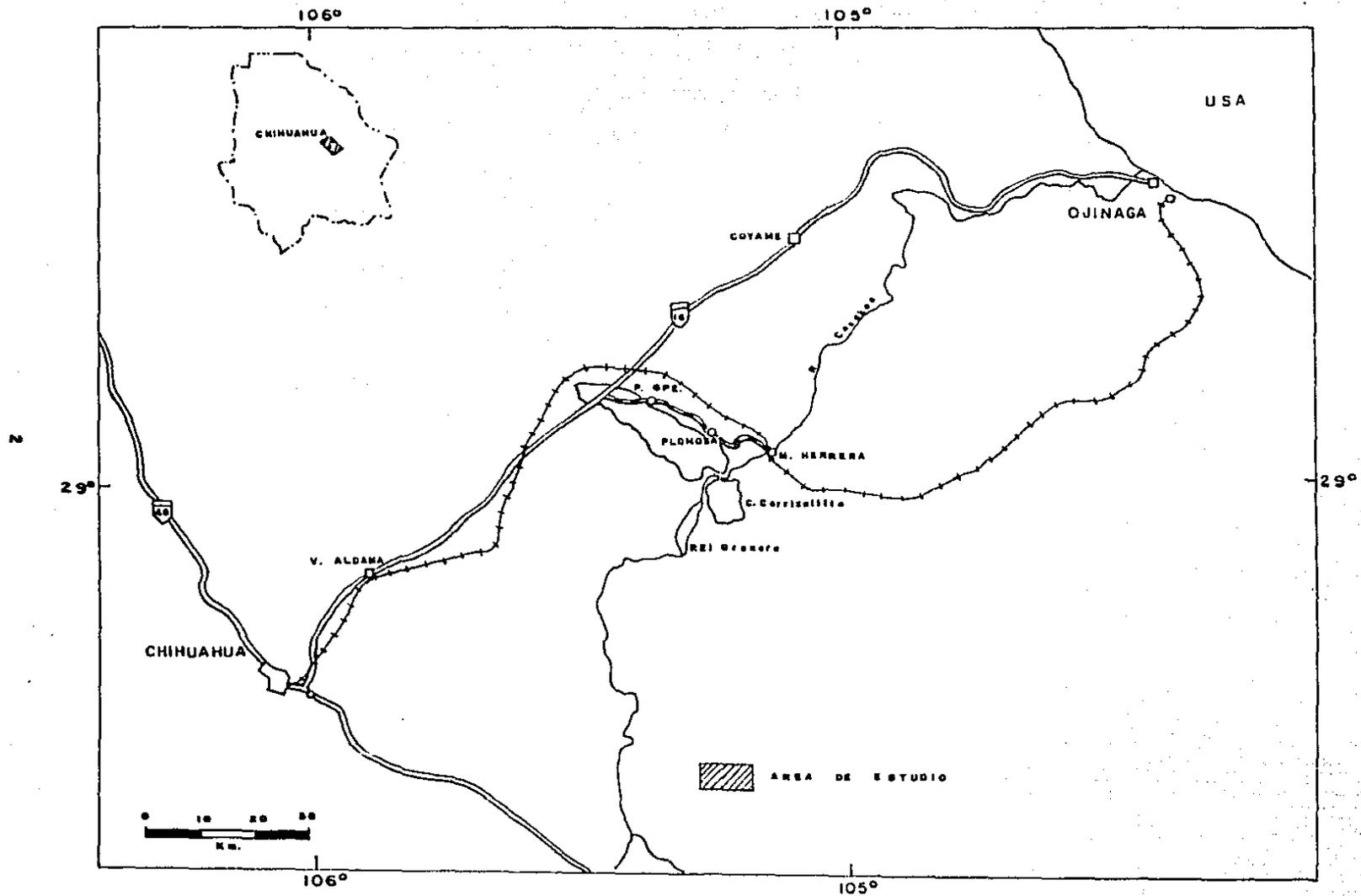


Fig.1 PLANO DE LOCALIZACION

Monillas, Caliza Pastor y Plomosas. Trabajos más recientes realizados en el área de Placer de Guadalupe-Mina Plomosas, Cerro de Enmedio y Cerro Carrizalillo han tomado como base los trabajos realizados por Bridges (op. cit.). Entre los que se tienen en el área son los de Hernández (1975), Malpica y De la Torre (1980), Quintal (1983), Quintero (1984) y García (1985); contándose también entre otras diversas tesis de maestría de las universidades de Texas, Christian University y University of Texas at El Paso, y trabajos realizados por empresas como el Instituto Mexicano del Petróleo, Instituto de Geología de la UNAM, Compañías Mineras, así como excursiones geológicas realizadas tanto por Petróleos Mexicanos, como por la Universidad de Chihuahua.

La mayor parte de estos trabajos han presentado en forma generalizada las relaciones estratigráfico-sedimentológicas, así como tectónico-estructurales de la secuencia paleozoica; sin embargo, ninguno de ellos ha atacado el problema diagenético en el área.

### C.- OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio fue el analizar en forma detallada la secuencia del Ordovícico-Permiano Temprano que aflora en la porción centro-oriental del Edo. de Chih. con la finalidad de postular el potencial petrolífero de estas rocas; tomando en consideración la evolución sedimentológica de la secuencia, así como su historia diagenética. Para ello fue necesario el establecer ciertos objetivos secundarios que fueron:

1.- Estudio sedimentológico de la sección paleozoica Ordovícico-Permico Temprano de las localidades de Placer de Guadalupe, Cerro de Enmedio y Cerro Carrizalillo.

2.-Determinación de las distintas litofacies que constituyen la secuencia en cuestión.

3.- Relaciones verticales y laterales de las diferentes litofacies.

4.- Historia diagenética de cada litofacies estudiada y condiciones paragenéticas involucradas.

#### D.- METODOLOGIA

La metodología que se llevó a cabo durante el desarrollo de este trabajo es la que se presenta a continuación:

1.- Revisión bibliográfica preliminar.

2.- Medición y muestreo de secciones estratigráficas en el Cerro de Placer de Guadalupe, Cerro de Enmedio y Cerro de Carrizalillo.

3.- Revisión bibliográfica específica.

4.- Estudio petrográfico de las muestras colectadas.

5.- Estudio diagenético de las muestras colectadas e interpretación de los procesos involucrados.

6.- Integración de datos de campo y laboratorio.

7.- Análisis sedimentológico de las unidades paleozóicas (Ordovícico-Permico Temprano).

8.- Integración del estudio diagenético (Paragénesis).

9.- Resultados y conclusiones.

Para la descripción petrográfica de las muestras se utilizó

la nomenclatura de Dunham (1962) para las calizas y de Folk (1974) para las areniscas. De igual manera, para el análisis ambiental se utilizaron las facies standard de Wilson (1975).

## II.- ESTRATIGRAFIA

En el área de estudio aflora una secuencia estratigráfica que comprende rocas del Paleozoico al reciente (Figs. 2 y 3). El paleozoico está representado por las Formaciones Bliss (Cámbrico), Sóstenes (Ordovícico Temprano-Tardío), Solís (Ordovícico Tardío-Devónico Medio basal), Monillas (Devónico Medio-Pensilvánico Temprano), Pastor (Pensilvánico Temprano-Pérmico Temprano), Plomosas (Pérmico Temprano-Tardío), Verde (Pérmico Tardío).

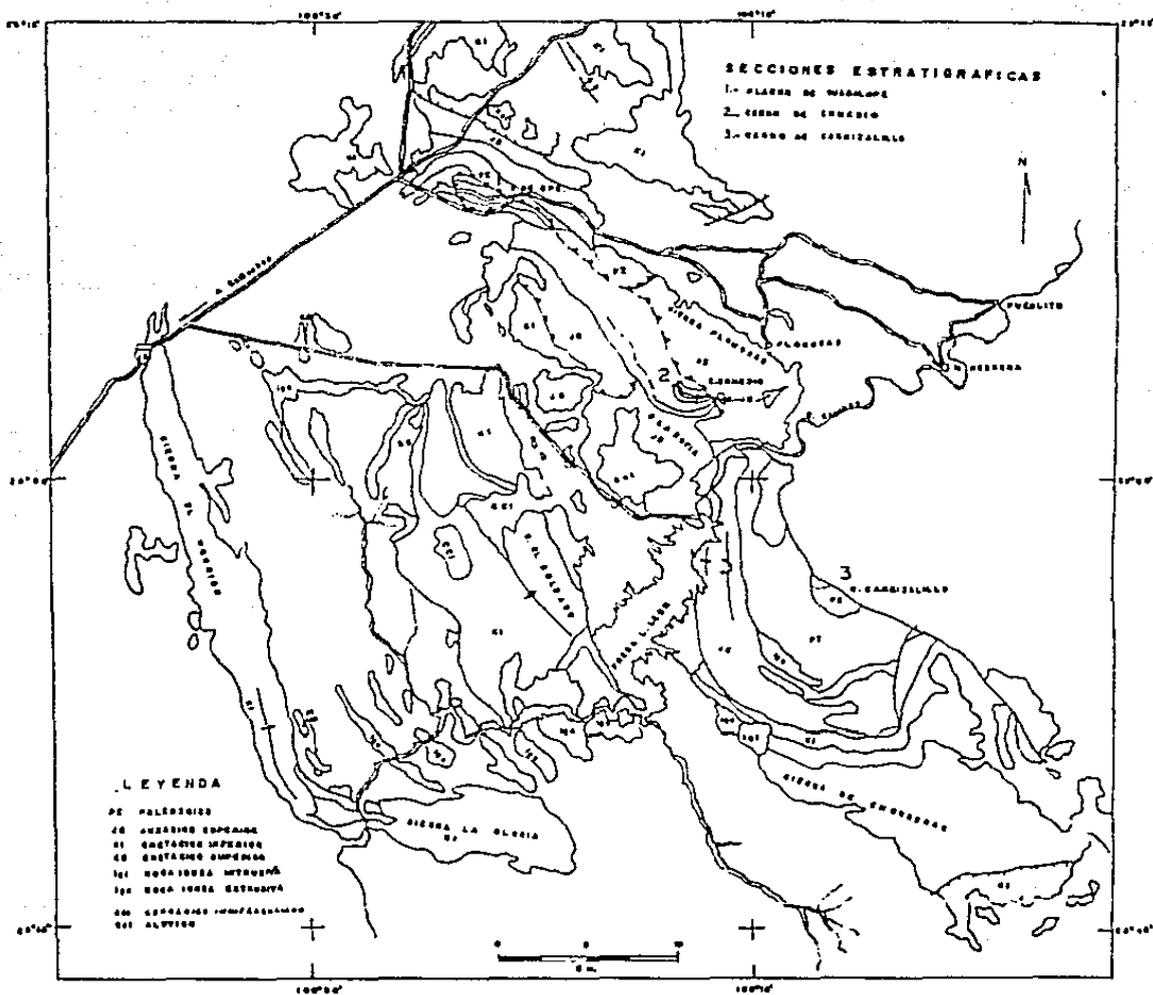
La secuencia Paleozoica presenta durante el Ordovícico una serie de depósitos clásticos y carbonatados, los cuales cambian durante el Devónico a una sedimentación netamente calcárea que se mantiene hasta el Pérmico Temprano para finalizar con una sedimentación primordialmente clástica.

En el presente estudio únicamente se analizaron las formaciones Sóstenes, Solís, Monillas y Pastor; por lo cual serán las únicas que se describirán a continuación. El estudio de estas unidades se realizó por considerar que son las que en forma general presentan características de poder generar hidrocarburos.

### A.- FORMACION SOSTENES

#### 1.- GENERALIDADES

Definición. - Bridges (1965), propone el nombre de Formación Sóstenes para una secuencia de calizas ligeramente arcillosas y en ocasiones dolomíticas, con intercalaciones de lutitas y dos



PERIODO		RAMIREZ-ACEVEDO JUNIO-1957	BRIDGES, 1965 GARCIA, 1985	MARTINEZ, 1983	HORAK, 1964
		SIERRA DEL CUERVO	PLACER DE GPE CARRIZALILLO	POZO OJINAGA - 1	CUENCA DE MARFA
PERMICO	GUAD.	FM. RARA	FM. VERDE ?		FM. CHERRY, CANYON
	LEONARD		FM. PLOMOSAS		FM. BRUSMY CANYON
	WOLFCAN		?		FM. BONE SPRING
PENSILVANICO		?	FM. PASTOR		WOLFCAMPANO
		*			FM. CIENEGUITA
MISISIPICO			?		FM. STRAWN
DEVONICO			FM. MONILLAS	FM. PERCHA	LUTITA MISISIPICA
					?
SILURICO			FM. SOLIS		FM. WOODFORD
					SILURICO - DEVONICO
ORDOVICICO			FM. SOSTENES	FM. MONTOYA	FM. MONTOYA
				FM. SIMPSON	FM. SIMPSON
				FM. EL PASO	FM. ELLENBURGER
CAMBRICO		FM. BLISS ?	FM. BLISS	FM. BLISS	
P E					



AUSENTE

\* EGUIZABAL Y COLAB. (1986)

FIG. 3 Tabla de correlación Estratigráfica

prominentes estratos de areniscas hacia la cima, que aflora en Placer de Guadalupe cerca de la estación de ferrocarril San Sostenes.

Litología y Espesor. - En la sección de Placer de Guadalupe está constituida por wackestones a packstones recristalizados con fragmentos de bioclastos y esporádicamente peloides e intraclastos, predominando los fragmentos de equinodermos, crinoides, moluscos y algas; presenta algunos intervalos con gasterópodos (Maclurites, sp.). En menor proporción se observan fragmentos de briozoarios, corales y trilobites; así como escasos nódulos y bandas de pedernal. En la parte media y superior se observan dos cuerpos de litarenitas de grano fino a medio muy compactas, con cementante silíceo y calcáreo.

En Cerro de Enmedio consiste de wackestones y ocasionalmente packstones recristalizados y parcialmente dolomitizados con peloides y fragmentos de: equinodermos, crinoides y moluscos. En la parte media superior se observan escasos gasterópodos (Maclurites, sp.). La parte inferior presenta algunos intervalos con nódulos y bandas de pedernal que disminuyen hacia la parte media. La parte superior la constituyen esporádicos afloramientos de lutitas gris y gris oscuro ligeramente arenosas que alternan con cuerpos de litarenitas y sublitarenitas de grano fino a medio con cementante silíceo y calcáreo.

En el área de Carrizalillo, está constituida por mudstones y wackestones en ocasiones ligeramente arcillosos, muy recristalizados y parcialmente dolomitizados, con escasos

fragmentos de: equinodermos y moluscos, en menor proporción se observan fragmentos de: algas y esporádicamente gasterópodos probablemente (Maclurites, sp.). En la parte inferior se observan dos cuerpos de sublitarenitas de grano fino a medio, así como también se presentan dos cuerpos de macrodolomías de color crema. Los nódulos y bandas de pedernal son abundantes en la parte inferior, disminuyendo ligeramente en algunos intervalos de la parte media y superior. La secuencia presenta cierta esquistosidad que se observa más clara en algunos intervalos arcillosos.

En general la estratificación en las tres localidades varía de gruesa a masiva y las estilolitas generalmente son de origen tectónico.

En láminas delgadas se observaron dos periodos de fracturamiento, así como también se observó la presencia de cuarzo detrítico que en ocasiones llega a ser hasta del 15% en Placer de Guadalupe, y disminuye en Cerro de Enmedio y Carrizalillo a un 10% en algunos intervalos.

Bridges (1965), también identifica tres o cuatro cuerpos biohéricos cerca de la base de esta formación en la sección medida en el Cañón de Monillas, los cuales no se presentan en ninguna de las localidades estudiadas.

Los espesores medidos en esta formación no son completos debido a que no se encuentra aflorando su base en esta área y solamente se presenta completa en el Cerro Carrizalillo al

sureste de Placer de Guadalupe donde García (1985) midió un espesor de 270 metros. Bridges (1965), midió 264 metros en Placer de Guadalupe, 280 metros en Cerro de Enmedio y 265 metros en el Cañón de Monillas; mientras que Hernández (1975) midió 140 metros en Placer de Guadalupe y Quintal (1983), midió 303 metros en Cerro de Enmedio. En este trabajo se midieron 236 metros en la misma localidad, 343 metros en el área de Carrizalillo y en Placer de Guadalupe 140 metros.

Edad.- La edad que se ha asignado a esta formación es del Ordovícico Temprano al Tardío (?), con base en los fósiles identificados por Cooper (1961, en Bridges, 1965); que comprenden braquiópodos como, Esperonomia, sp. y Archagorthis, sp. del Ordovícico Temprano, y gasterópodos como Naclurites sp. y Palliseria, sp., siendo esta último un fósil guía del Ordovícico Medio, así como el conodonto Amorprognathus, sp. que Ellison (1961, en Bridges 1965) consideró como fósil guía del Ordovícico Tardío.

Distribución.- La Formación Sóstenes se encuentra bien distribuida en el área de Placer de Guadalupe, Sierra de Plomosas-Monillas, Cerro de Enmedio y Cerro de Carrizalillo (Fig. 2 ).

## B.- FORMACION SOLIS

### 1.- GENERALIDADES

Definición.- Bridges (1965) propuso el término de Formación Solis para una secuencia de calizas lutíticas (arcillosas) con

pedernal, caliza intraclástica y caliza gruesa con pedernal y ocasionalmente dolomítica, que afloran en el Cerro de Enmedio en el Cañón de Solís.

Litología y Espesor. - En Placer de Guadalupe está constituida por packstones, wackestones y ocasionalmente packstones a grainstones, recristalizados y parcialmente dolomitizados con peloides y fragmentos de: equinodermos, moluscos, crinoides, algas y braquiópodos; en menor proporción se observan ostrácodos, gasterópodos, trilobites y briozoarios. Hacia la cima se observan capas de calizas con grandes fragmentos de corales, muchos de ellos se presentan completos y muy pocos se observan en posición de crecimiento. Presenta escasos nódulos y bandas de pedernal en la parte inferior y superior de la secuencia; el contenido de cuarzo detrítico es común en la parte inferior, incrementando hacia la parte media hasta un 30%. En la parte media superior se observa un cuerpo de sublitarenitas de grano fino a medio en partes muy cementadas; los estratos varían de gruesos a masivos.

En Cerro de Enmedio la constituyen wackestones y wackestones a packstones recristalizados con fragmentos de: equinodermos, moluscos y crinoides. En la parte inferior se observan capas de packstones con abundantes fragmentos de: corales, en menor proporción moluscos, braquiópodos y trilobites. En la parte superior son más abundantes los braquiópodos, muchos de ellos se observan muy recristalizados y algunos parcialmente silicificados. Los estratos varían de gruesos a masivos en la parte inferior y media, mientras que en la parte superior varían

de gruesos a medios, presentan nódulos y bandas de pedernal que se hacen más abundantes en la parte superior donde las bandas pasan a ser capas que varían en espesor de 3 a 15 cm. El contenido de cuarzo detrítico es mayor en la parte media siendo de 4 a 6%. La dolomitización es de baja a incipiente, incrementando ligeramente en la parte superior.

En Carrizalillo la Formación Solís está constituida por wackestones y esporádicamente packstones recristalizados y ligeramente arcillosos, los organismos son escasos y sólo se observaron fragmentos de: equinodermos, moluscos y crinoides. Los estratos son de gruesos a masivos con nódulos y bandas de pedernal. La parte superior se presenta muy recristalizada y se observa cierta esquistosidad. La dolomitización es incipiente, y el contenido de cuarzo detrítico es poco y sólo se presenta más constante en la parte inferior. En láminas delgadas se siguen observando dos periodos de fracturamiento, y las estilolitas generalmente son de origen tectónico.

Los espesores que se han medido a esta formación en Placer de Guadalupe son de 230 metros (Bridges, 1965), 210 metros (Hernández, 1975). Quintal (1983), midió 201 metros en el Cerro de Enmedio, mientras que Bridges (1965) reporta 190 metros para esta misma localidad y 255 metros en el Cerro de Monillas. García (1985), reporta 305 metros en el Cerro de Carrizalillo. En este trabajo se midieron 192 metros en Cerro de Enmedio y 137 metros en Carrizalillo y 210 metros en Placer de Guadalupe.

Edad. - La edad asignada a esta formación es del Ordovícico

Tardío al Devónico Medio Basal y está dada con base en la fauna estudiada por Cooper (1961, en Bridges 1965) quien consideró que los braquiópodos Sowerbyella, sp. y Zygospira, sp. son los fósiles más característicos del Ordovícico Tardío. Para el Silúrico consideró como mejor indicador a los braquiópodos Lissatrypoidea, sp., Atrypa, sp. y los corales Entelophyllum, sp; y Favosites, sp. Los fósiles que Cooper (op. cit.) consideró como representativos del Devónico, son los braquiópodos Acrospirifer, sp., y los corales Favosites (Emmonsia) sp., probablemente del Devónico Inferior o Medio.

Distribución.— La Formación Solís se encuentra bien distribuida en el área de Placer de Guadalupe, Sierra Plomosas-Monillas, Cerro de Enmedio y Cerro de Carrizalillo (Fig. 2).

## C.- FORMACION MONILLAS

### 1.- GENERALIDADES

Definición.— Bridges (1965), propone el término de Formación Monillas para una secuencia arcillo-calcárea ubicada entre dos potentes secuencias carbonatadas que corresponden a las Formaciones Solís y Pastor; la localidad tipo para esta formación se localiza en el Cañón de Monillas en el Cerro de Enmedio al oeste de la Mina Plomosas.

Litología y espesor.— La Formación Monillas fue dividida por Bridges (1965) en dos miembros separados por una discordancia que representa un gran hiatus durante el Misisípico.

En la sección de Placer de Guadalupe el miembro superior está constituido por wackestones y packstones recristalizados, ligeramente dolomitizados y parcialmente silicificados con peloides, oolitas, intraclastos, y fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos, braquiópodos, briozoarios, corales, escasas algas, trilobites, ostrácodos y formaminíferos bentónicos. Los estratos varían de gruesos a medios con nódulos y bandas de pedernal, y las estilolitas en general son perpendiculares a la estratificación.

En Cerro de Enmedio toda la unidad se presenta muy cubierta y sólo se observan escasos afloramientos de lutitas grises y gris oscuro que intemperizan en colores gris verdoso y violeta. Alternan con delgados cuerpos de mudstones arcillosos y ocasionalmente wackestones de color gris oscuro muy recristalizados. Los organismos son muy escasos y sólo se observan fantasmas de fragmentos de equinodermos, moluscos y ostrácodos.

En Carrizalillo está constituida por limolitas y lutitas gris oscuro a negro en estratos delgados de 3 a 5 cm de espesor. Las estilolitas son escasas; en láminas delgadas se observa materia orgánica oxidada y glauconita, así como cuarzo detrítico en cantidades que varían de 10 a 20%.

Los espesores medidos por Bridges (op. cit.) en el área de Placer de Guadalupe son de 33 metros del miembro superior, en Cerro de Monillas 40 metros del miembro superior y en Cerro de Enmedio 6 metros del miembro inferior; mientras que Hernández

(1975) midió para toda la unidad 40 metros en Placer de Guadalupe y García (1985) reporta 46 metros en el Cerro de Carrizalillo. En este trabajo se midieron para toda la unidad 38 metros en Cerro de Enmedio, 47 metros en Cerro de Carrizalillo y 40 metros en Placer de Guadalupe.

Edad.- El miembro inferior de la Formación Monillas no está bien datado, ya que se considera que una parte puede ser del Devónico Medio Basal, otra parte del Misisípico Temprano, o todo el miembro inferior puede pertenecer al Devónico Tardío; con base a la combinación que Ellison (1961 en Bridges, 1965) estableció, con Icriodus latericrescens y el conodonto Polygnathus linguiformis, que dan una edad de principios del Devónico Tardío.

La edad del miembro superior parece ser del Misisípico Tardío (Chesteriano) al Pensilvánico Temprano (Derryano), con base al gasterópodo Glabrocingulum, sp. que Yochelson (1960, en Bridges 1965) consideró como del Misisípico Tardío-Pensilvánico, y los braquiópodos Chonetes, sp. que Cooper (1960 en Bridges, op. cit.), consideró como del Misisípico.

Distribución.- La Formación Monillas aflora, en el Cerro de Placer de Guadalupe, Sierra de Plomosas-Monillas, Cerro de Enmedio y Cerro de Carrizalillo (Fig. 2 ).

#### D.- FORMACION PASTOR

##### 1.-GENERALIDADES

Definición.- Bridges (1965) propuso el término de Formación

Pastor, para una secuencia de calizas gruesas y masivas que afloran en la Sierra de Plomosas entre la Mina Plomosas y Placer de Guadalupe.

Litología y Espesor. - En la sección de Placer de Guadalupe está constituida por wackestones a packstones y ocasionalmente packstones recristalizados con fragmentos de: equinodermos, crinoides, fusulínidos, peloides e intraclastos; en menor proporción se observan ostrácodos, algas, trilobites, corales, y escasos fragmentos de: braquiópodos y briozoarios. Presentan nódulos y bandas de pedernal en diferentes intervalos, siendo más abundantes en la parte inferior. En general la secuencia se encuentra ligeramente dolomitizada presentándose en forma de parches con cristales muy pequeños (microcristales).

En Cerro de Enmedio la constituyen mudstones, wackestones y packstones recristalizados y en ocasiones ligeramente arcillosos, con fragmentos de: equinodermos, crinoides y moluscos; los foraminíferos bentónicos son comunes, entre ellos los fusulínidos; en menor proporción se observan ostrácodos, fragmentos de: algas (Ivanovia, sp. y Komia, sp.), braquiópodos, corales, gasterópodos y esporádicamente conodontos. Los nódulos y bandas de pedernal son comunes en la parte inferior y en algunos intervalos de la parte media, disminuyendo ligeramente en la parte superior. La dolomitización es incipiente y se presenta en intervalos aislados.

En la sección de Carrizalillo se presenta un intervalo de la Formación Pastor que se encuentra en contacto tectónico con las

Formaciones Solís y Monillas; el cual consiste de mudstones, wackestones y ocasionalmente packstones ligeramente arcillosos y muy recristalizados, con fragmentos de: equinodermos, moluscos, fusulínidos (Fusulina, sp.), crinoides y en menor proporción algas (Ivanovia, sp.) y ostrácodos. Mientras que la Formación Pastor que se encuentra en posición estratigráfica normal, está constituida por macro a microdolomías; se observan escasos fantasmas de fragmentos de equinodermos y moluscos y en algunos intervalos se observan fantasmas de oolitas y peloides. Presenta escasos nódulos y bandas de pedernal.

En general la estratificación es gruesa a masiva, y en las estiolitas son predominantes las de origen tectónico. En láminas delgadas se observaron dos periodos de fracturamiento en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio, mientras que en Carrizalillo se observó un tercer periodo de fracturamiento en esta formación.

Los espesores que se han medido en esta formación en el Cerro de Enmedio son de 255 metros, (Bridges 1965), 274 metros (Quintal 1983). Hernández (1975), reporta 392 metros en Placer de Guadalupe y García (1985) 550 metros en el Cerro de Carrizalillo. En este trabajo se midieron 200 metros en Cerro de Enmedio, 280 metros en Carrizalillo y 392 metros en Placer de Guadalupe.

Edad.— La edad que se ha asignado a la Formación Pastor es del Pensilvánico Temprano (Derryano) al Pérmico Temprano (Wolfcampiano), con base en los fusulínidos estudiados por Wilde

(1960, en Bridges, 1965) Fusulina sp. del Desmoinesiano; Kansanella cf. y Triticites sp. del Missouriano; Triticites cullo-  
mensis del Virgilliano; y Paraschwagerina sp. y Pseudoschwagerina cf. del Wolfcampiano.

Distribución.- La Formación Pastor se encuentra bien distribuida en Placer de Guadalupe, Sierra Plomosas-Monillas, Cerro de Enmedio, Sierra de Santo Domingo y en el área de Cerro de Carrizalillo (Fig. 2 ).

#### IV.- DESCRIPCION DE SECCIONES MEDIDAS

A continuación se describirán cada una de las secciones estudiadas de su base a la cima. Estas descripciones se presentan junto con la representación gráfica para cada formación, por lo que el lector será referido a estas figuras para mayores detalles la figura 4 muestra la simbología utilizada en cada una de las representaciones gráficas de las secciones medidas.

##### 1.- SECCION PLACER DE GUADALUPE

La sección queda ubicada aproximadamente a 2 Km al noroccidente del poblado de Placer de Guadalupe, (Fig. 1) en el flanco occidental de una estructura que corresponde (Quintal, 1983) al flanco de un anticlinal asimétrico con su plano axial recostado al suroccidente (Quintal, 1983). Tiene una longitud de 3.5 Km y una amplitud de 2.2 Km; presentando una elevación topográfica de 1880 m sobre el nivel del mar y de 360 m sobre el nivel del terreno. Los echados se encuentran invertidos al noreste y varían de 40o a 48o.

El flanco oriental está ausente como consecuencia de fallamiento inverso (Quintal, 1983), que pone en contacto rocas del Pérmico de la Formación Plomosas con rocas del Ordovícico representadas por la Formación Sostenas.

El lado occidental de la estructura también se encuentra afectado por una falla inversa que pone en contacto tectónico a la Formación Plomosas probablemente con rocas del Jurásico Superior.

### ESTRUCTURAS Y TEXTURAS

-  Estilolitas bien desarrolladas.
-  Estilolitas poco desarrolladas.
-  Estilolitas tectónicas
-  Nódulos de pedernal.
-  Lentes y bandas de pedernal.
-  Fracturas.
-  Bioturbación.

### TIPOS DE ROCA.

-  Caliza.
-  Lutita.

### ORGANISMOS

-  Laminaciones de algas.
-  Foraminíferos bentónicos.
-  Corales.
-  Gasterópodos.
-  Fragmentos de moluscos.
-  Equinodermos.
-  Algas.
-  Crinoides.

### COMPONENTES DE LA ROCA:

#### CARBONATADOS.

-  Oolitas.
-  Micrita.
-  Intraclastos.
-  Peloides.
-  Terrígenos.

-  Dolomita.
-  Arenisca.
-  Roca Ignea.

#### CLASTICOS.

-  Cuarzo.
-  Cementante.
-  Matriz.

### GRADO DE RECRISTALIZACION Y/O DOLOMITIZACION

#### ORGANISMOS:

Fragmentados 

Presentes 

comunes 

completos 

abundantes 

- Bajo 
- Moderado 
- Alto 

Fig. 4 Simbología utilizada en la descripción de las secciones estratigráficas medidas.

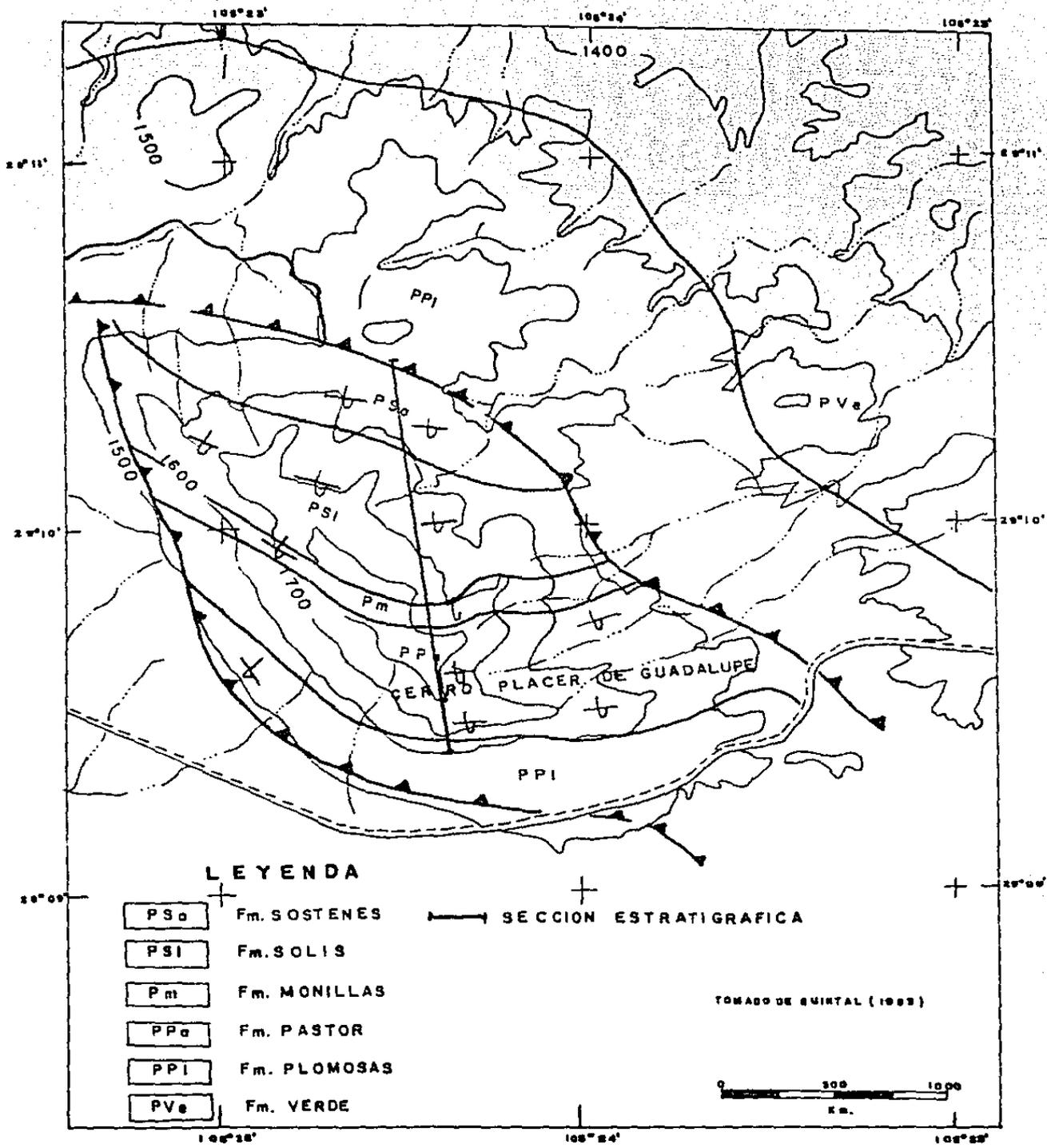


FIG. 5 PLANO GEOLOGICO DE PLACER DE GUADALUPE

La secuencia estratigráfica que aflora en esta estructura la constituyen rocas paleozoicas que varían en edad del Ordovícico al Pérmico y están representadas por las Formaciones, Sóstenes, Solís, Monillas, Pastor, Plomosas y Verde (Fig. 5).

El espesor total medido en esta sección fue de 782 metros que comprenden las Formaciones Sóstenes, Solís, Monillas y Pastor, las cuales se describen a continuación.

### FORMACION SOSTENES

0.0 m a 75.0 m La Formación Sóstenes en este intervalo está constituida en la parte inferior, por una secuencia de wackestones a packstones recristalizados y ligeramente arcillosos con fragmentos de: equinodermos, algas, gasterópodos, briozoarios y moluscos; presenta escasos nódulos y bandas de pedernal con cantidades subordinadas de cuarzo detrítico que varían entre 2 y 5 %, los cuales tienden a incrementar hacia arriba hasta un 10 %. En general esta secuencia se presenta ligeramente dolomitizada y parcialmente silicificada, el fracturamiento es común y se presentan algunos intervalos muy recristalizados, las estilolitas que predominan generalmente son de origen tectónico ..... 75.0 m.

75.0 m a 129.0 m La parte media y superior la constituye un cuerpo de litarenitas de grano fino a medio, muy compactas con cementante silíceo y calcáreo, los granos son subredondeados a subangulosos, a las cuales sobreyace un grueso paquete de calizas que varían desde wackestones hasta packstones de fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos, algas y

trilobites; los cuales presentan cantidades de cuarzo detrítico que varían en algunos intervalos desde el 3% hasta 15%.

..... 54.0 m.

129.0 m a 140.0 m Litarenitas de grano medio a fino de regular a buena clasificación, los granos de cuarzo se presentan redondeados a subangulares. Estas areniscas subyacen a wackestones a packstones ligeramente dolomitizados y parcialmente silicificados que presentan grandes fragmentos de corales, que constituye la cima de esta formación. El fracturamiento en la parte superior disminuye ligeramente, mientras que las estilolitas, en general, se conservan constantes .....

11.0 m.

Total ..... 140.0 m.

El contacto inferior es tectónico y el superior es concordante con la Formación Solís en la figura 6 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Sóstenes en la sección de Placer de Guadalupe.

### FORMACION SOLIS

0.0 m a 149.0 m Esta representada por una secuencia de packstones, wackestones y packstones a grainstones de peloides y fragmentos de: equinodermos, moluscos, ostrácodos, escasos fragmentos de corales y trilobites; ocasionalmente se observan foraminíferos bentónicos. Esta secuencia se presenta ligeramente dolomitizada y parcialmente silicificada; los estratos son de gruesos a masivos con intervalos ligeramente arcillosos. En la base de esta secuencia se observan escasos nódulos y bandas de



pedernal que desaparecen hacia la cima, y presenta cantidades subordinadas de cuarzo detrítico que se incrementa hacia arriba hasta un 30% aproximadamente. Las estilolitas son comunes y el fracturamiento se presenta paralelo y perpendicular a la estratificación. .... 149.0 m.

149.0 m a 200.0 m Sublitolitas de grano fino a medio, en partes muy cementadas por sílice y carbonatos; los granos son de subredondeados a subangulosos, regularmente clasificada. Sobreyaciendo a estas areniscas se encuentra una secuencia carbonatada constituida por wackestones y packstones ligeramente arcillosos muy recristalizados, de peloides y fragmentos de: equinodermos, moluscos, gasterópodos, braquiópodos y escasas algas y crinoides. Se presentan algunas capas de calizas que contienen grandes fragmentos de corales, muchos de ellos se encuentran completos y muy pocos se observan en posición de crecimiento. La secuencia se presenta ligeramente dolomitizada y parcialmente silicificada, en algunos intervalos disminuye la presencia de estilolitas mientras que el fracturamiento se mantiene constante, siendo en ocasiones abundante en algunos intervalos. .... 51.0 m.

200.0 m a 210.0 m La parte superior de esta formación está representada por una secuencia de estratos gruesos de macrodolomías, en las que se observan algunos fantasmas de fragmentos de: equinodermos, moluscos y crinoides. Se encuentra ligeramente silicificada y muy fracturada. La cima de la Formación Solís está marcada por una discordancia paralela (?), sobre la que descansa la Formación Monillas ..... 10.0 m.  
 Total ..... 210.0 m.



El contacto inferior es concordante con la Formación Sostenes y el superior es discordante con la Formación Monillas en la figura 7 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Solís en la sección de Placer de Guadalupe.

### FORMACION MONILLAS

0.0 m a 18.0 m Consiste de una secuencia de wackestones a packstones ligeramente dolomitizados y parcialmente silicificados de peloides y fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos, braquiópodos, briozoarios, corales, escasas algas y trilobites y esporadicos intervalos con intraclastos. Se observan escasos nódulos de pedernal, las estilolitas son tectónicas, y el fracturamiento se presenta en diferentes direcciones; los estratos son de gruesos a masivos ..... 18.0 m.

18.0 m a 22.0 m Packstones y ocasionalmente packstones a grainstones, de peloides, oolitas, foraminíferos bentónicos y fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos, corales, algas y ostrácodos. Se presentan intervalos ligeramente dolomitizados y parcialmente silicificados con desarrollo de estilolitas. El fracturamiento es consistente y presenta diferentes direcciones, generalmente la secuencia se presenta recristalizada. .... 4.0 m.

22.0 m a 40.0 m Consiste de una alternancia de wackestones y packstones de oolitas, peloides, intraclastos y fragmentos de: crinoides, moluscos, gasterópodos, braquiópodos, foraminíferos bentónicos, escasos trilobites. La parte inferior de esta

secuencia se presenta ligeramente dolomitizada, el fracturamiento es constante disminuyendo ligeramente en la parte superior. Los estratos varían de medios a gruesos, predominando éstos últimos. En algunos intervalos las capas presentan nódulos y bandas de pedernal que se hacen más abundantes hacia la parte superior, las estilolitas disminuyen ligeramente en la parte superior de la secuencia ..... 18.0 m.  
 Total ..... 40.0 m.

El contacto inferior es discordante con la Formación Solís y el superior es transicional y concordante con la Formación Pastor. En la figura 8 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Monillas en la sección de Placer de Guadalupe.

#### FORMACION PASTOR

La Formación Pastor presenta una litología en general muy homogénea que consiste primordialmente de wackestones a packstones, y ocasionalmente packstones a grainstones de peloides, intraclastos y bioclastos que presentan una fauna muy variada, siendo los fragmentos de crinoides y fusulínidos los que en forma general predominan en toda la secuencia, le siguen en orden de abundancia los fragmentos de: moluscos, algas, corales, trilobites, ostrácodos y braquiópodos.

Esta secuencia en general se presenta muy recristalizada, observándose algunos intervalos en donde la recristalización es tan intensa, que en ocasiones resulta sumamente difícil identificar algunas partículas u organismos.



La dolomitización esta presente en casi toda la columna, siendo más marcada en algunos intervalos de la parte inferior y media; hacia la parte superior tiende a disminuir ligeramente y se presenta en forma preferencial formando pequeños parches de cristales muy pequeños (microcristales).

El fracturamiento es consistente en toda la formación observándose algunos intervalos muy fracturados, el desarrollo de estilolitas es comunmente observado en toda la secuencia. En la parte inferior de la formación se observan abundantes nódulos y bandas de pedernal que tienden a disminuir hacia la parte media, siendo menos frecuentes en la parte superior.

En algunos intervalos de la parte media y superior se presentan cantidades subordinadas de cuarzo detrítico que varían en porcentajes desde 1% hasta 6% en la parte superior de la formación.

Se midió un espesor total de 392.0 m; el contacto inferior es transicional y concordante con la Formación Monillas y el superior es discordante con la Formación Plomosas. En la figura 9 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Pastor en la sección de Placer de Guadalupe.

SECCION ESTRATIGRAFICA : P. DE GUADALUPE

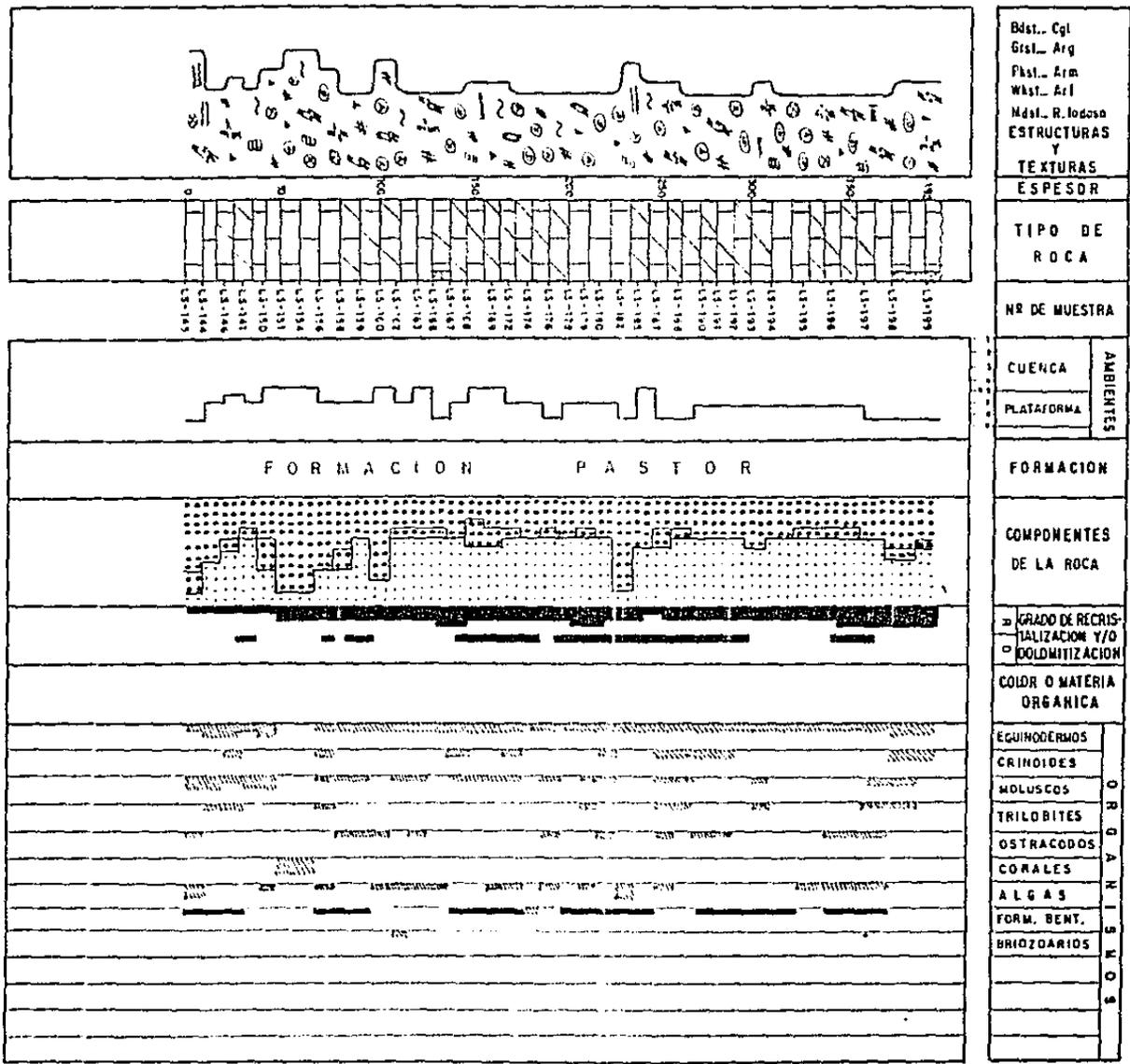


Fig. 9. Columna estratigráfica de la Formación Pastor en la sección de Placer de Guadalupe.

## 2.- SECCION CERRO DE ENMEDIO

La sección se encuentra ubicada (Fig. 2) en el flanco suroccidental del Cerro de Enmedio que es un anticlinal recostado al suroccidente con un rumbo NE 35o SW aproximadamente, con una longitud de 6.0 Km y una amplitud de 4.5 Km. Presenta una elevación de 1700 m sobre el nivel del mar y 500 m sobre el nivel del terreno.

Los echados de esta estructura varían de 60o a 86o y se encuentran invertidos al noreste; aflorando una secuencia estratigráfica constituida por rocas paleozoicas representadas por las Formaciones Sóstenes, Solís, Monillas, Pastor y Plomosas, que varían en edad del Ordovícico al Pérmico. (Fig. 10).

La parte oriental de la estructura se encuentra afectada por una falla inversa que pone en contacto a la Formación Plomosas del Pérmico con la Formación Sóstenes del Ordovícico; la traza de la falla presenta una orientación NW 30o SE (Quintal, 1983), que probablemente se extienda hasta el área de Placer de Guadalupe (Fig. 2).

Esta sección tiene un espesor total de 668.3 metros y comprende las Formaciones: Sóstenes, Solís, Monillas y Pastor, que se describen a continuación.

### FORMACION SOSTENES

0.0 m a 70.0 m Wackestones a packstones de color gris en estratos masivos, con abundantes nódulos y bandas de pedernal de

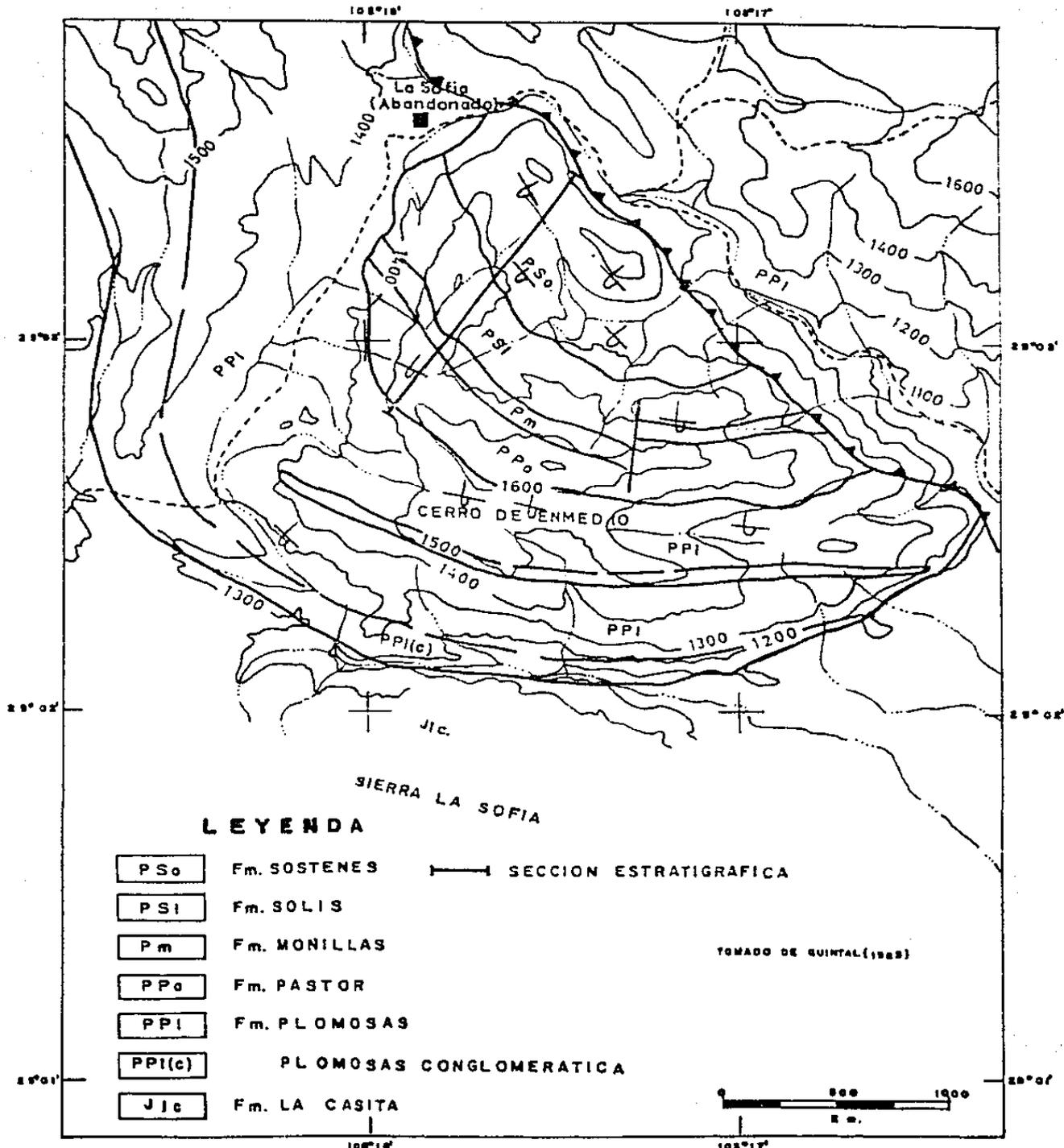


FIG.10 PLANO GEOLOGICO DEL CERRO DE ENMEDIO

3 a 10 cm los cuales disminuyen hacia la parte superior. El fracturamiento es intenso en la base haciéndose moderado hacia arriba, en algunos intervalos se presentan abundantes estilolitas en forma anastomosada y muchas de ellas presentan materia orgánica oxidada. La recristalización es moderada y alta en algunos intervalos, mientras que la dolomitización es incipiente y se presenta constante en todo el intervalo. Los organismos son escasos predominando los fragmentos de equinodermos y en menor proporción los moluscos; presenta cantidades de cuarzo detrítico que varían del 1 al 10 % en algunos intervalos. .... 70.0 m.

70.0 m a 117.5 m Wackestone a packstones y packstone de fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos y capas con gasterópodos (Maclurites, sp.). Los estratos son masivos con nódulos y bandas de pedernal que disminuyen hacia la parte superior hasta desaparecer. Se siguen presentando estilolitas con materia orgánica oxidada y cantidades de cuarzo que varían de 1 a 3 %. La dolomitización se sigue presentando incipiente. .... 47.5 m.

117.5 m a 120.0 m Dique de monzonita de color verde, se presenta muy alterado y fracturado ..... 2.5 m.

120.0 m a 167.5 m Wackestones gris y gris oscuro, en estratos gruesos a masivos con cantidades de cuarzo que varían de 4 a 10 %. Están presentes los fragmentos de: equinodermos, crinoides y moluscos. El fracturamiento es moderado, presentándose más fuerte en la parte superior; las estilolitas

son anastomosadas y presentan materia orgánica oxidada. La dolomitización se sigue presentando incipiente y la recristalización es moderada. .... 47.5 m.

167.5 m a 236.5 m Intervalo semicubierto con esporádicos afloramientos de capas delgadas de lutitas arenosas de color gris, gris oscuro y gris verdoso, muy alteradas y meteorizadas con óxidos de hierro; alternan con cuerpos de areniscas que varían de sublitarenitas a litarenitas en estratos de 60 cm a 1.20 m con pequeños nódulos de pedernal que intemperizan en color café rojizo; los granos son subredondeados a redondeados y varían en tamaño de fino a medio. La matriz es arcillosa y presenta cementante calcáreo y silíceo; se observan pocos granos fracturados y esporádicos bioclastos. El cementante calcáreo se presenta ligeramente dolomitizado, y los cuerpos de arenisca de la parte superior presentan presión-solución grano a grano, disminuyendo el cementante calcáreo y la matriz es escasa; los intervalos cubiertos varían de 5.0 m a 10.0 m. 69.0 m.

Total ..... 236.5 m.

El contacto inferior de la Formación Sóstenes es tectónico y el superior es contrastante y concordante con la Formación Solís. En la figura II se muestran la columna estratigráfica de la Formación Sóstenes en la sección de Cerro de Enmedio.

#### FORMACION SOLIS

0.0 m a 75.0 m Wackestones y wackestones a packstones de color gris y gris oscuro de fragmentos de: equinodermos,

SECCION ESTRATIGRAFICA : C. DE ENMEDIO, CHIH.

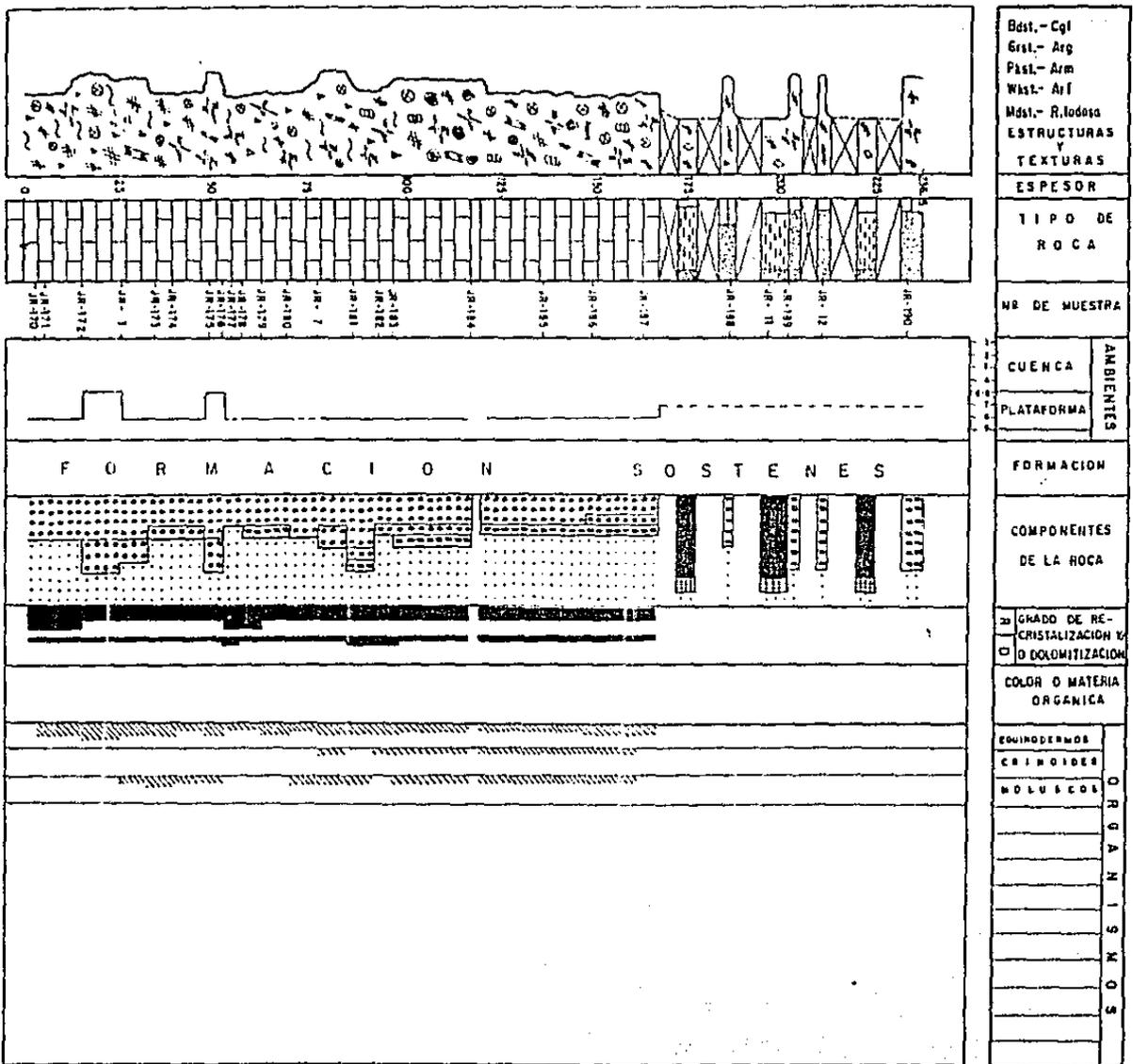


Fig. 11. Columna estratigráfica de la Formación Sostenes en la sección de Carro de Enmedio.

moluscos, y crinoides; los estratos son gruesos a masivos con abundantes nódulos y bandas de pedernal. En la parte media de esta secuencia se observan dos cuerpos de caliza intraclástica en estratos masivos, con escasos fragmentos de equinodermos, moluscos y braquiópodos; les sobreyacen capas de packstones con abundantes corales completos y fragmentados, muy pocos en posición de crecimiento, y fragmentos de: crinoides, equinodermos, moluscos y braquiópodos. La parte superior de este intervalo lo constituyen wackestones a packstones de fragmentos de: equinodermos, moluscos, y escasos crinoides. Los estratos son gruesos a masivos con nódulos y bandas de pedernal que se hacen más frecuentes hacia arriba; en algunos intervalos se observan cantidades subordinadas de cuarzo detrítico que varían en porcentaje del 1 al 2 %. El fracturamiento es persistente en todo el intervalo, y las estilolitas observadas generalmente son perpendiculares a la estratificación y menos frecuentes paralelas a la misma. La recristalización es moderada y la dolomitización es incipiente y sólo se presenta en algunos intervalos; en la parte inferior de esta secuencia se observó un pequeño dique de monzonita de color verde de ~1.0 m de espesor, muy alterado y fracturado.  
..... 75.0 m.

75.0 m a 135.0 m Wackestones a packstones y packstones ligeramente arcillosos de color gris con fragmentos de: equinodermos, moluscos, crinoides y escasos trilobites. Los estratos varían de medios a gruesos con nódulos y bandas de pedernal que tienden a disminuir hacia arriba, presenta

cantidades de cuarzo detrítico que varían de 4 a 6 % estando ausente en algunos intervalos. El fracturamiento es común y las estilolitas son generalmente perpendiculares a la estratificación. El grado de recristalización es moderado y la dolomitización es incipiente. La parte media y superior de este intervalo está representada por una secuencia de wackestones a packstones de color gris con fragmentos de: equinodermos, moluscos y braquiópodos. Los estratos son gruesos a masivos con nódulos y bandas de pedernal que tienden a incrementarse hacia la parte superior. El contenido de cuarzo detrítico varía de 2 a 4 %, disminuyendo en la parte superior hasta el 1 %. El fracturamiento se mantiene constante al igual que las estilolitas siendo éstas principalmente perpendiculares a la estratificación. El grado de recristalización es moderado a alto en la parte superior, y la dolomitización es incipiente incrementando en la parte superior ..... 60.0 m.

135.0 m a 192.6 m Esta representada en la parte inferior por un cuerpo de microdolomías de color gris con escasos fantasmas de fragmentos de equinodermos y crinoides; en estratos gruesos a masivos muy fracturadas. El resto del intervalo esta constituido por wackestones de color gris con fragmentos de: equinodermos, moluscos y braquiópodos; muy recristalizados y algunos de ellos parcialmente silicificados. Los estratos varían de gruesos a masivos y medios en la parte superior; presentando nódulos y bandas de pedernal que se incrementan hacia la cima hasta ser abundantes, donde las bandas de pedernal pasan a ser capas que varían de 3 a 15 cm de espesor. El fracturamiento continua

SECCION ESTRATIGRAFICA : C. DE ENMEDIO

Bdst. - Cgl	ESTRUCTURAS Y TEXTURAS
Grst. - Arg	
Pkst. - Arm	ESPESOR
Wkst. - Arf	
Mdst. - R. lodoso	TIPO DE ROCA
	Nº DE MUESTRA
	AMBIENTES
	FORMACION
	COMPONENTES DE LA ROCA
	GRADO DE RE-CRISTALIZACION Y/O DOLOMITIZA.
	COLOR O MATERIA ORGANICA
	ORGANISMOS

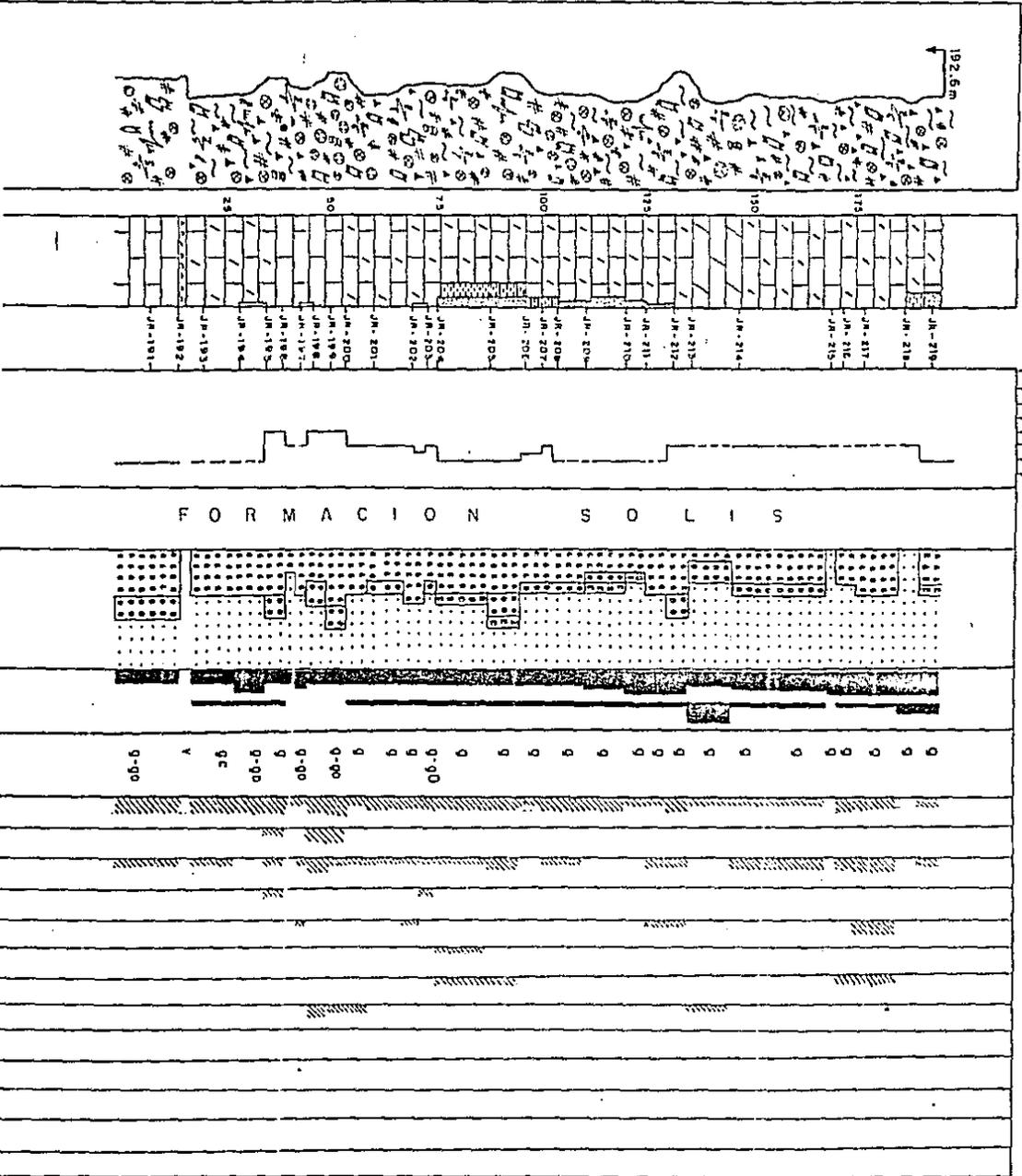


Fig. 12. Columna estratigráfica de la Formación Solis en la sección de Cerro de Enmedio.

persistente siendo muy fuerte en algunos intervalos; y las estilolitas son comunes, predominando aquellas perpendiculares a la estratificación. En general esta secuencia presenta un alto grado de recristalización y la dolomitización también aumenta en la parte superior ..... 57.6 m.  
 Total ..... 192.6 m.

El contacto inferior es concordante con la Formación Sóstenes y el superior es discordante (?) con la Formación Monillas. En la figura 12 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Solís en la sección de Cerro de Enmedio.

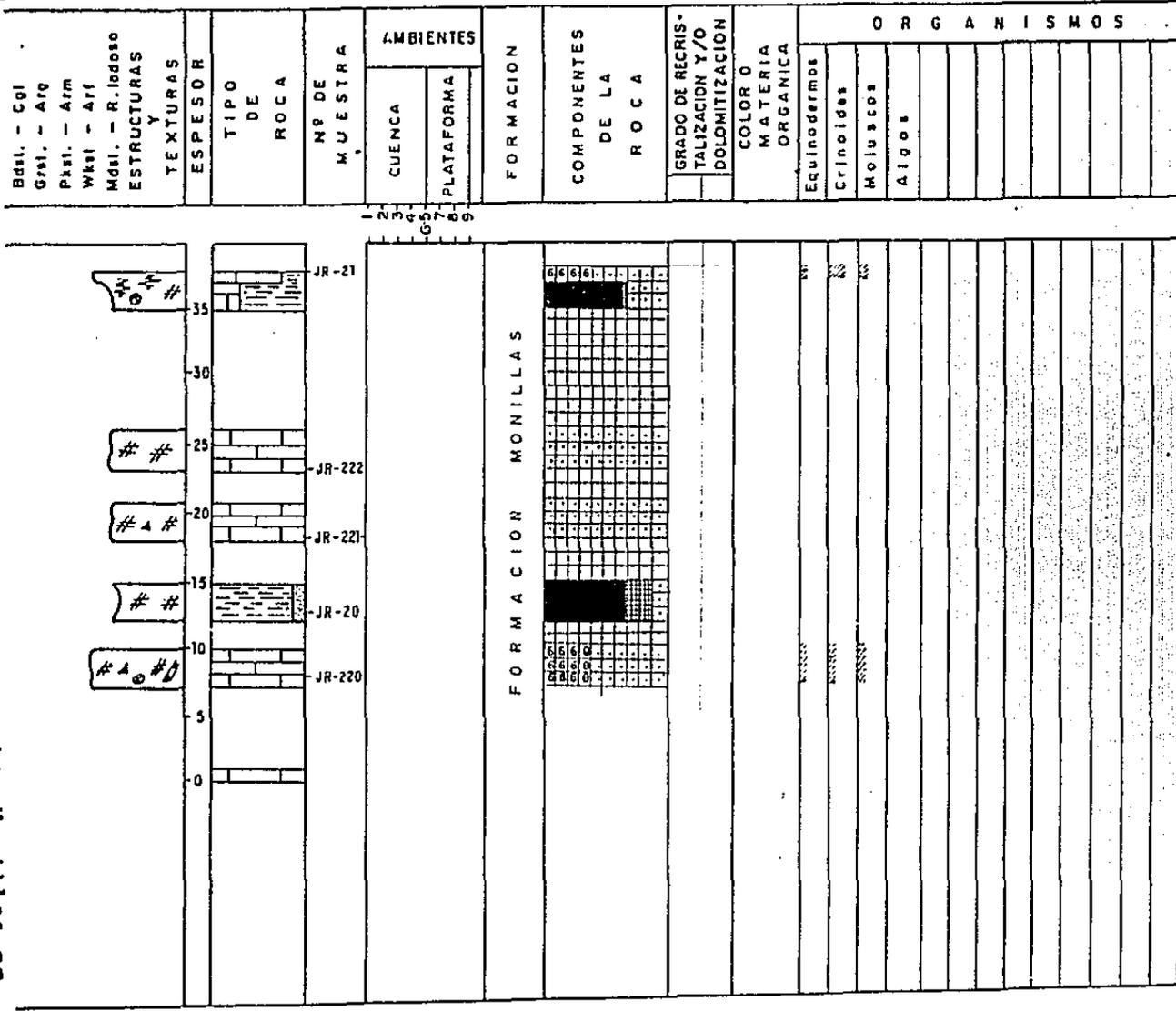
#### FORMACION MONILLAS

La Formación Monillas que se presenta en esta localidad se encuentra muy cubierta, y sólo se observan esporádicos afloramientos de lutitas de color gris a gris oscuro ligeramente arenosas que intemperizan en colores gris verdoso y violeta, muy alteradas; alternan con delgados cuerpos de mudstones arcillosos y ocasionalmente wackestones de color gris a gris oscuro que se presentan muy recristalizados. Los organismos son escasos y sólo se observan fantasmas de fragmentos de equinodermos, moluscos y ostrácodos.

El espesor que se midió en esta formación es de 38.7 m. El contacto superior es transicional y concordante con la Formación Pastor, mientras que Bridges (1965) considera que el inferior es discordante con la Formación Solís; sin embargo en la visita de campo realizada en este trabajo, esta discordancia no fue claramente observada por el autor. En la figura 13 se muestra

# SECCION ESTRATIGRAFICA : C. ENMEDIO

Fig. 13. Columna estratigráfica de la Formación Honillas en la SECCIÓN DE ENMEDIO.



la columna estratigráfica de la Formación Monillas en la sección de Cerro de Enmedio.

### FORMACION PASTOR

0.0 m a 7.5 m Packstones de color gris con foraminíferos bentónicos y fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos, braquiópodos, ostrácodos y escasos corales. Los estratos son gruesos a masivos con escasos nódulos de pedernal. El fracturamiento es común y las estilolitas generalmente son perpendiculares a la estratificación. La recristalización es moderada y la dolomitización es incipiente. .... 7.5 m.

7.5 a 27.0 Mudstones a wackestones y wackestones grises en estratos masivos con esporádicos nódulos de pedernal; se presenta altamente recristalizados. Se observaron escasos fantasmas de fragmentos de equinodermos y crinoides. El fracturamiento es consistente, y las estilolitas son perpendiculares a la estratificación. .... 20.0 m.

27.0 m a 75.0 m Packstones con abundantes fragmentos de crinoides y wackestones a packstones gris y gris oscuro con fusilínidos fragmentos de: equinodermos, moluscos, crinoides, algas y ostrácodos. Los foraminíferos bentónicos solamente se observan en intervalos aislados así como los ostrácodos. Los estratos son gruesos a masivos predominando los últimos, con nódulos y bandas de pedernal que desaparecen hacia la parte superior. El fracturamiento es común y las estilolitas se presentan perpendiculares y muy pocas paralelas a la estratificación. La recristalización es moderada con intervalos

que presentan alta recristalización, y la dolomitización es incipiente y se presenta en intervalos aislados.

..... 48.0 m.

75.0 m a 130.0 m Wackestones y wackestones a packstones de foraminíferos bentónicos y fragmentos de: equinodermos, moluscos, crinoides, algas y ostrácodos; solamente se observó un fragmento de conodontos en la parte inferior del intervalo así como capas con gasterópodos. Los estratos son masivos, con nódulos y bandas de pedernal que tienden a disminuir hacia la parte superior. El fracturamiento es consistente y generalmente es perpendicular a la estratificación; presenta estilolitas bien desarrolladas, perpendiculares y paralelas a la estratificación. La dolomitización es incipiente y se presenta constante en todo el intervalo, el grado de recristalización varía de moderado a alto en algunos intervalos. .... 55.0 m.

130.0 m a 150.0 m Mudstones a wackestones grises en estratos masivos con escasos nódulos y bandas de pedernal, se presenta muy recristalizado; disminuyendo un poco el fracturamiento. Se observan escasas estilolitas bien desarrolladas, perpendiculares a la estratificación. Predominan los fragmentos de equinodermos y en menor proporción los crinoides y moluscos ..... 20.0 m.

150.0 m a 200.0 m Wackestones a packstones de fragmentos de: equinodermos, crinoides (que son abundantes en algunos intervalos), moluscos y en menor proporción foraminíferos bentónicos en intervalos aislados; al igual que los ostrácodos y algas, siendo escasos los braquiópodos. Los estratos son masivos

con escasos nódulos de pedernal. El fracturamiento es intenso en diferentes direcciones, y las estilolitas son comunes y bien desarrolladas ..... 50.0 m.  
Total ..... 200.5 m.

El contacto inferior es transicional y concordante con la Formación Monillas, mientras que el superior es abrupto y concordante con la Formación Plomosas. En la figura 14 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Pastor en las secciones de Cerro de Enmedio.

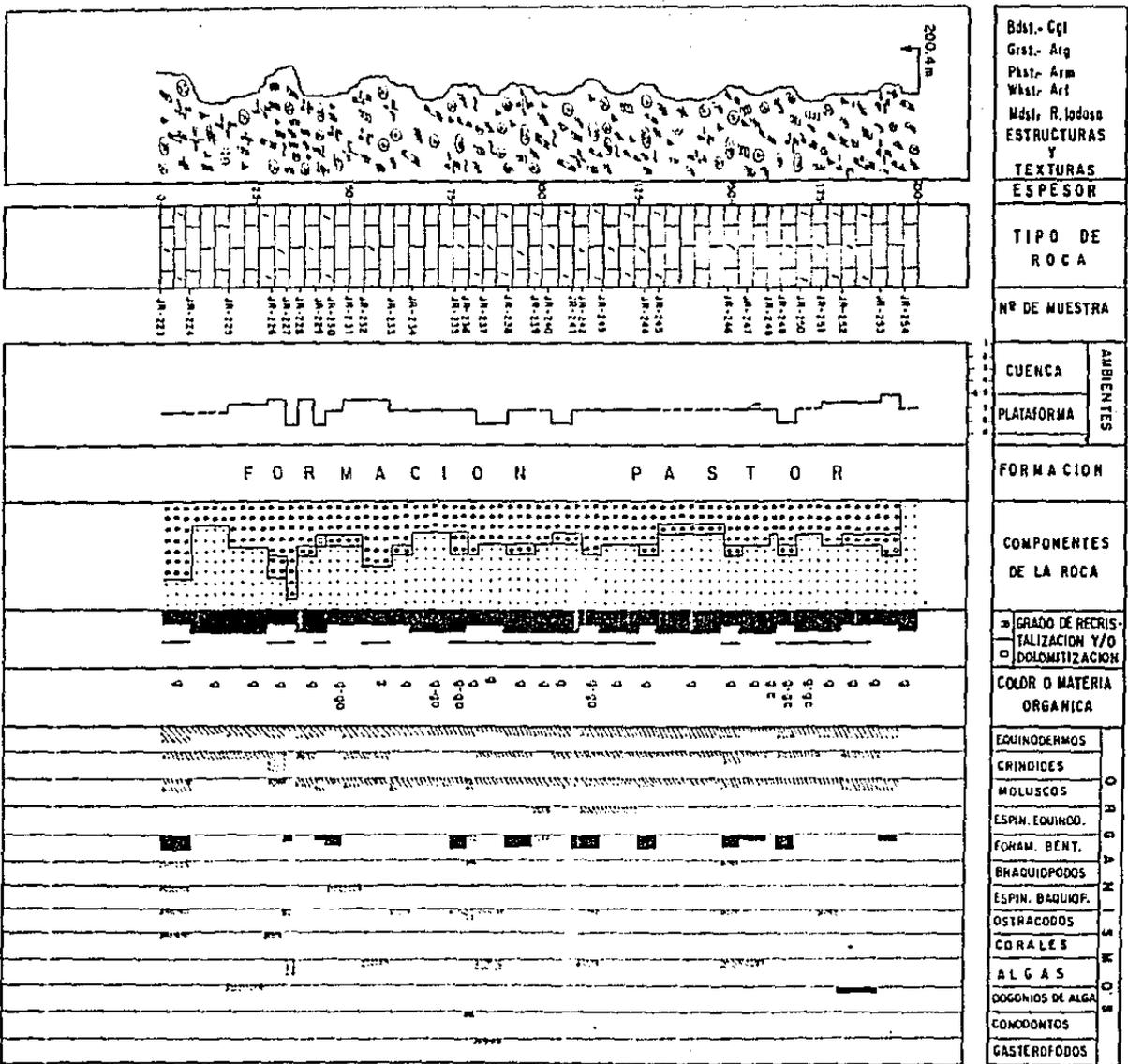


Fig. 14. Columna estratigráfica de la Formación Pastor en la sección de Cerro de Enmedio.

### 3.- SECCION CARRIZALILLO

La sección se encuentra ubicada a 2.0 Km al SE del Rancho Carrizalillo, en el flanco suroccidental del cerro del mismo nombre que presenta una longitud de 6 Km y una amplitud de 3 Km. Su elevación máxima es de 1600 m sobre el nivel del mar y de 400 m sobre el nivel del terreno.

Este rasgo estructural corresponde al flanco occidental de un anticlinal que podría formar parte del conjunto estructural Placer de Guadalupe-Plomosas. La secuencia estratigráfica que aflora, comprende rocas metamórficas e ígneas que constituyen el basamento precámbrico del área; así como rocas del Paleozoico que varían en edad del Cámbrico al Pérmico, representadas por las Formaciones Bliss, Sóstenes, Solís, Monillas, Pastor, Plomosas y Verde. (Fig. 15).

Los echados en la parte occidental se presentan invertidos al noreste por efectos de fallamiento inverso y varían desde 40° hasta hacerse casi verticales en la parte más alta topográficamente; mientras que en la parte oriental, los echados varían de 35° a 56° al suroccidente. Dicha estructura presenta una serie de fallas inversas localizadas en la parte suroccidental, que afectan a diferentes niveles estratigráficos, (Fig. 15); así mismo, en la parte suroriental de la estructura, García, (1985) reporta un fallamiento normal con catda al noreste, posterior al fallamiento inverso de la parte norte, y hacia el sur de esta falla también se observa un movimiento de desplazamiento lateral izquierdo (Fig. 15).

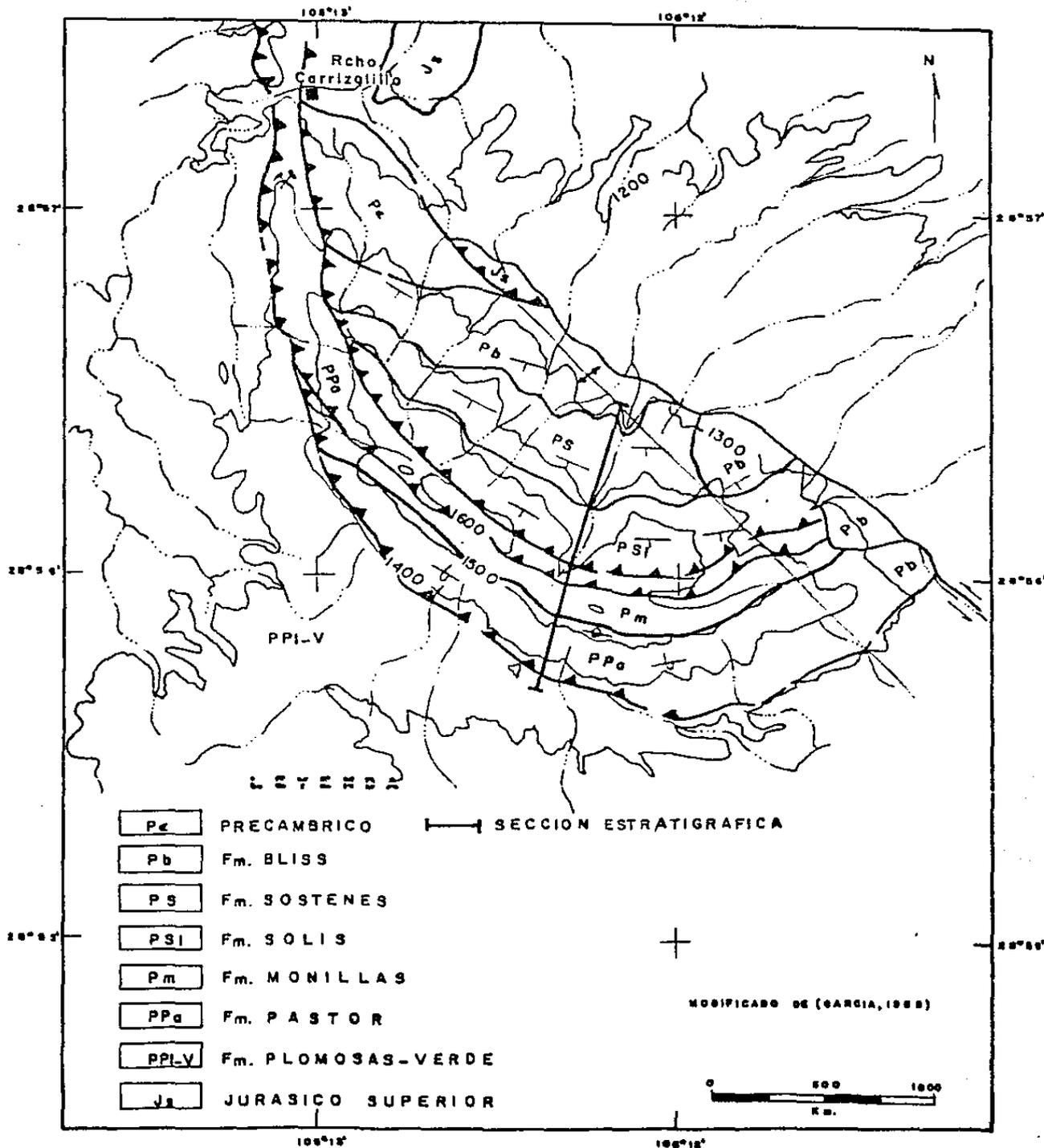


FIG.15 PLANO GEOLOGICO DEL C. CARRIZALILLO

Esta sección comprende las Formaciones Sóstenes y Solís, un intervalo de la Formación Pastor que se encuentra en contacto tectónico con la Formación Solís y Monillas y por último la Formación Pastor en secuencia normal. Se midieron 929.9 m de espesor total que comprende las unidades arriba mencionadas y que se describen a continuación.

### FORMACION SOSTENES

0.0 m a 52.5 m Lo constituyen mudstones a wackestones ligeramente arcillosos recristalizados de color gris en estratos de 50 a 80 cm con abundantes nodulos y bandas de padarnal y óxidos de hierro en algunos intervalos. Los organismos son escasos, y se encuentran presentes los fragmentos de equinodermos, así como esporádicos fragmentos de moluscos y algas. En la parte superior se presenta un cuerpo de sublitarenitas de color gris de grano fino a medio, subredondeados a redondeados, con cementante calcáreo y silíceo. Los estratos son de 60 cm y presenta óxidos de hierro. El fracturamiento es común siendo muy fuerte en ciertos intervalos. La dolomitización se presenta de baja a incipiente, y contiene cantidades de cuarzo que varían entre 1 y 3%. El grado de recristalización es muy alto, observándose cierta esquistosidad que se presenta más claramente en los intervalos más arcillosos; también se observa la presencia de minerales del grupo de los anfíboles y piroxenos. Las estilolitas son comunes y generalmente son perpendiculares a la estratificación.

..... 52.5 m

52.5 a 60.0 m Intervalo cubierto ..... 7.5 m.

60.0 m a 120.0 m Mudstones a wackstones y ocasionalmente wackestones a packstones de color gris muy recristalizados y fracturados, con nódulos y bandas de pedernal. Se observan escasos fragmentos de equinodermos y esporádicamente moluscos. Presenta un bajo grado de dolomitización. En la parte inferior se observa un cuerpo de sublitarenitas de grano fino a medio, subredondeados a subangulares, con cementante calcáreo y silíceo, muy fracturadas y alteradas. También se presenta un cuerpo de microdolomía de color café crema. Los estratos varían de 50, 60 y 70 cm de potencia. El fracturamiento es muy fuerte; también se observa cierta esquistosidad en y algunos óxidos de hierro en la parte inferior. .... 60.0 m.

120.0 m a 137.5 m Macrodolomía de color café crema, en estratos de 60 a 80 cm muy fracturada. Se observan escasas estilolitas perpendiculares a la estratificación. .... 17.5 m.

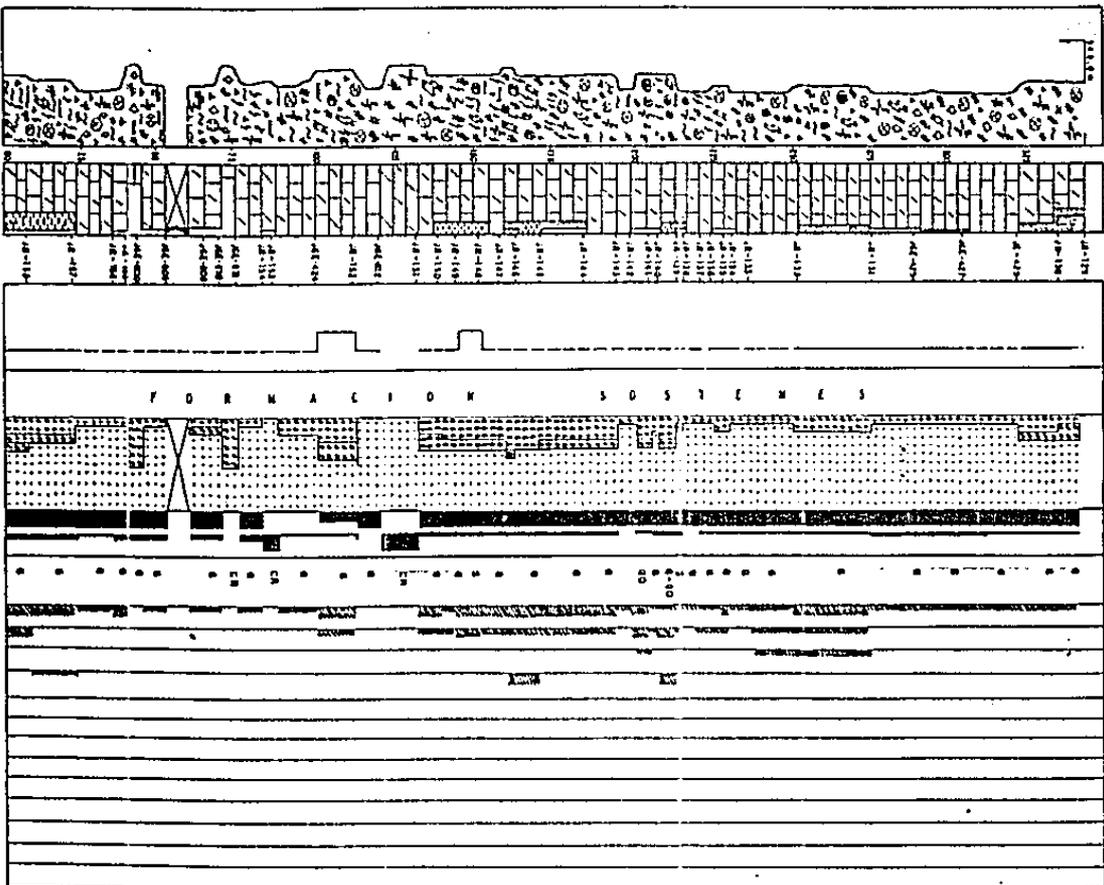
137.5 m a 212.5 m Wackestones de color gris y ocasionalmente gris oscuro ligeramente arcillosos, en estratos gruesos de 80 cm, predominando los masivos, con bandas de pedernal que en ocasiones forman capas que varían de 3 a 20 cm. Los nódulos de pedernal son escasos, tendiendo a ser más frecuentes en la parte superior. Los organismos que predominan son los fragmentos de: equinodermos, moluscos y en menor proporción algas que se presentan en intervalos aislados, y escasos gasterópodos fragmentados en la parte superior. Las estilolitas generalmente son perpendiculares a la estratificación y se presentan bien desarrolladas; siendo el fracturamiento fuerte en diferentes

direcciones. El grado de recristalización es alto y se observa cierta esquistosidad. El contenido de cuarzo detrítico varía de 1 a 2 %; la dolomitización es incipiente. .... 75.0 m.

212.5 m a 343.0 m Mudstones a wackestones de color gris muy recristalizados, en estratos que varían de gruesos a masivos con nódulos y bandas de pedernal. El fracturamiento es fuerte y perpendicular a los estratos; en algunos intervalos se presenta en diferentes direcciones y algunas fracturas presentan oxidación. Los organismos son muy escasos y sólo se observan fantasmas de fragmentos de: equinodermos, moluscos y algunas capas que presentan gasterópodos (Maclurites, sp.). El contenido de cuarzo detrítico varía de 1 a 2 % en algunos intervalos, incrementando a 8 y 10 % en la parte superior. Las estilolitas se presentan perpendiculares a la estratificación y algunas de ellas oblicuas. Se observaron minerales del grupo de los anfíboles en la mayor parte del intervalo. La dolomitización en general es incipiente, se observan bastantes nódulos de óxido de hierro hacia la parte superior del intervalo; así como también se observa cierta esquistosidad. .... 130.5 m.  
Total ..... 343.0 m.

El contacto inferior es transicional y concordante con la Formación Bliss y el superior también es transicional y concordante con la Formación Solís. En la figura 16 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Sóstenes en la sección Cerro Carizalillo.

SECCION ESTRATIGRAFICA : C. CARRIZALILLO



DmL - Cgl		TIPO DE ROCA
Sms. - Arg		
Psm. - Arm		
Msl. - Acl		NO DE MUESTRA
MML - E. MASO		
ESTRUCTURAS Y TEXTURAS		CUENCA
ESPESOR		
AMBIENTES		FORMACION
PLATAFORMA		
COMPONENTES DE LA ROCA		MARGO DE RECALZADO SALSACION Y/O DOLOMITIZACION
COLOR O MATERIA ORGANICA		
Espesores		O N D A N I S T O S
Medidas		
Aguas		

Fig. 16. Columna estratigráfica de la Formación Sostenes en la sección de Cerro de Carrizalillo.

## FORMACION SOLIS

0.0 m a 77.5 m Wackestones y esporádicamente packstones ligeramente arcillosos, de color gris y gris oscuro, con fragmentos de: equinodermos, moluscos, crinoides, y esporádicos corales que se presentan en ciertos intervalos, los estratos son gruesos a masivos con nódulos y bandas de pedernal. Se presenta bastante oxidación en la parte inferior y superior del intervalo. Las estilolitas son comunes y principalmente perpendiculares a la estratificación. Presenta cantidades de cuarzo detrítico que varían de 1 a 3 %. El fracturamiento es fuerte en la parte inferior, disminuyendo ligeramente en la parte media del intervalo, y en la parte superior se vuelve a manifestar fuerte. La dolomitización varía de baja a incipiente, quedando ausente en el intervalo de 37.0 m a 52.5 m; el grado de recristalización es alto y se observan minerales del grupo de los anfíboles. .... 77.5 m.

77.5 m a 137.7 m Mudstones a wackestones ligeramente arcillosos de color gris y gris obscuro en estratos masivos con nódulos y bandas de pedernal. El fracturamiento es fuerte y consistente en diferentes direcciones. Los organismos son escasos, estando presentes los fragmentos de equinodermos y moluscos y crinoides. La dolomitización es incipiente, presentándose sólo esporádicamente en la parte superior. Las estilolitas son perpendiculares y muy pocas paralelas a la estratificación y son muy comunes en todo el intervalo. Se siguen observando minerales de anfíboles que tienden a disminuir en cantidad y tamaño hacia la parte superior. El

contenido de cuarzo detrítico es escaso. El grado de recristalización es muy fuerte y en algunos intervalos presentan cierta esquistosidad que es predominante en la parte superior ..... 60.2 m.  
 Total ..... 137.7 m.

El contacto inferior es transicional y concordante con la Formación Sóstentes, mientras que en la parte superior el contacto es tectónico por falla inversa con las rocas del Pensilvánico que podrían pertenecer a la Formación Pastor. En la figura 17 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Solís en la sección de Cerro Carrizalillo.

#### FORMACION PASTOR

0.0 m a 35.5 m Wackestones de color gris ligeramente arcillosos en estratos de 60 a 80 cm con escasos nódulos y bandas de pedernal. Están presentes los fragmentos de: equinodermos, moluscos, foraminíferos bentónicos (fusulínidos) y en menor proporción crinoides y algas (Ivanovia, sp.). El grado de recristalización es alto. Se observan estilolitas perpendiculares y paralelas a la estratificación predominando las últimas, el fracturamiento es moderado a alto y generalmente perpendicular a la estratificación, y presenta un bajo grado de dolomitización ..... 37.5 m.

37.5 m a 100.0 m Mudstones a wackstones de color gris y gris oscuro en estratos de 20 a 70 cm con estilolitas perpendiculares y paralelas a la estratificación; los organismos



son escasos, constituidos por fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos y en menor proporción, foraminíferos bentónicos y algas, que se presentan en intervalos aislados. El fracturamiento es perpendicular a la estratificación, aumentando un poco en la parte superior. El grado de recristalización es alto y empiezan a observarse minerales de anfíboles; la dolomitización en general es incipiente, y presenta cuarzo detrítico de ~3 % en la parte superior ..... 62.5 m.

100.0 m a 122.0 m Wackestones y ocasionalmente wackestones a packstones de color gris a gris oscuro en estratos gruesos a masivos, con fragmentos de: moluscos, equinodermos, crinoides y en menor proporción foraminíferos bentónicos (fusilínidos), algas y ostrácodos. La secuencia presenta un alto grado de recristalización, el fracturamiento es moderado y perpendicular a la estratificación. Presenta cuarzo detrítico que varía entre 1 y 2 %, y se siguen presentando minerales de anfíboles. La dolomitización es incipiente y sólo se presenta en dos intervalos en la parte superior ..... 22.0 m.  
 Total ..... 122.0 m.

La parte inferior está en contacto tectónico con la Formación Solís y la parte superior es abrupto con la Formación Monillas.

### FORMACION MONILLAS

Fig. Columna estratigráfica de la Formación Monillas en la sección de Cerro Carrizalillo. El espesor medido en esta formación es de 47.2 m. el contacto inferior es abrupto con



rocas del Pensilvánico, mientras que el superior, se presenta muy cubierto, por lo que no se pudo observar muy claramente su relación con la Formación Pastor. En la figura 14 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Monillas en la sección Cerro Carrizalillo.

0.0 m a 27.0 m      Limolita de color gris oscuro en estratos delgados de 3 a 5 cm con nódulos de óxidos de hierro. Las estilolitas son escasas y el fracturamiento se presenta sólo esporádicamente en la parte inferior. En algunos intervalos presenta materia orgánica oxidada y glauconita; así como cantidades de cuarzo detrítico que varían de 10 a 20 %, láminas ..... 27.0 m.

27.0 m a 47.2 m      Lutita gris oscuro a negro en estratos de 3 y 5 cm y en ocasiones laminar; muy meteorizada. Presenta óxidos de hierro y materia orgánica oxidada; las estilolitas son escasas, y el cuarzo detrítico se presenta en cantidades que varían desde 5 hasta 10 %. En la parte superior se encuentra un intervalo de limolitas de color gris oscuro en estratos delgados de ~ 5 cm muy meteorizadas, con cuarzo detrítico de ~ 15 % ..... 20.2 m.  
 Total ..... 74.2 m.

#### FORMACION PASTOR

0.0 m a 82.5 m Macro y mesodolomías de color café crema y gris en estratos masivos. Los organismos son escasos, estando presentes fantasmas de fragmentos de equinodermos, y moluscos; además se observaron fantasmas de oolitas y peloides. Presenta



escasos nódulos y bandas de pedernal. El fracturamiento es de moderado a fuerte en algunos intervalos, y las estilolitas generalmente son perpendiculares a la estratificación .. 82.5 m.

82.5 m a 100.0 m Wackestones ligeramente arcillosos de color gris, en estratos de 60 a 80 cm; con escasos nódulos de pedernal. Los organismos son escasos y sólo se observaron fragmentos de algas y foraminíferos bentónicos (fusulínidos). El fracturamiento es escaso, y las estilolitas son comunes y perpendiculares a la estratificación. Presenta un grado de recristalización moderado y el grado de dolomitización es bajo..  
.....17.5 m.

100.0 m a 266.0 m Micro y mesodolomías de color gris y ocasionalmente gris oscuro, los estratos son gruesos de 70 a 80 cm y en ocasiones masivos, con nódulos y escasas bandas de pedernal. El fracturamiento es consistente y generalmente perpendicular a la estratificación. Los organismos son escasos y sólo se observan fantasmas de fragmentos de equinodermos, ocasionalmente oolitas, peloides y un fragmento de trilobite. Las estilolitas en general se presentan en todo el intervalo, predominando aquellas perpendiculares a la estratificación, algunas de ellas se observan oxidadas al igual que las fracturas. En algunos intervalos se observan escasos minerales de anfíboles ..... 166.0 m.

266.0 m a 280.0 m Mudstones a wackestones de color gris en estratos de 50 a 60 cm. No se observaron fósiles. El fracturamiento es fuerte y perpendicular al los estratos. La

recristalización es moderada a alta, y las estilolitas generalmente son perpendiculares a la estratificación, siendo escasas las que son paralelas a la misma. El contenido de cuarzo detrítico es de ~ 10%. Presenta materia orgánica dispersa, el grado de dolomitización es bajo. .... 4.0 m.  
 Total ..... 280.0 m.

El contacto inferior con la Formación Monillas no es claro por estar cubierto, mientras que el superior es tectónico con la Formación Plomosas. En la figura 19 se muestra la columna estratigráfica de la Formación Pastor en la sección Cerro de Enmedio.

SECCION ESTRATIGRAFICA C. CARRIZALILLO

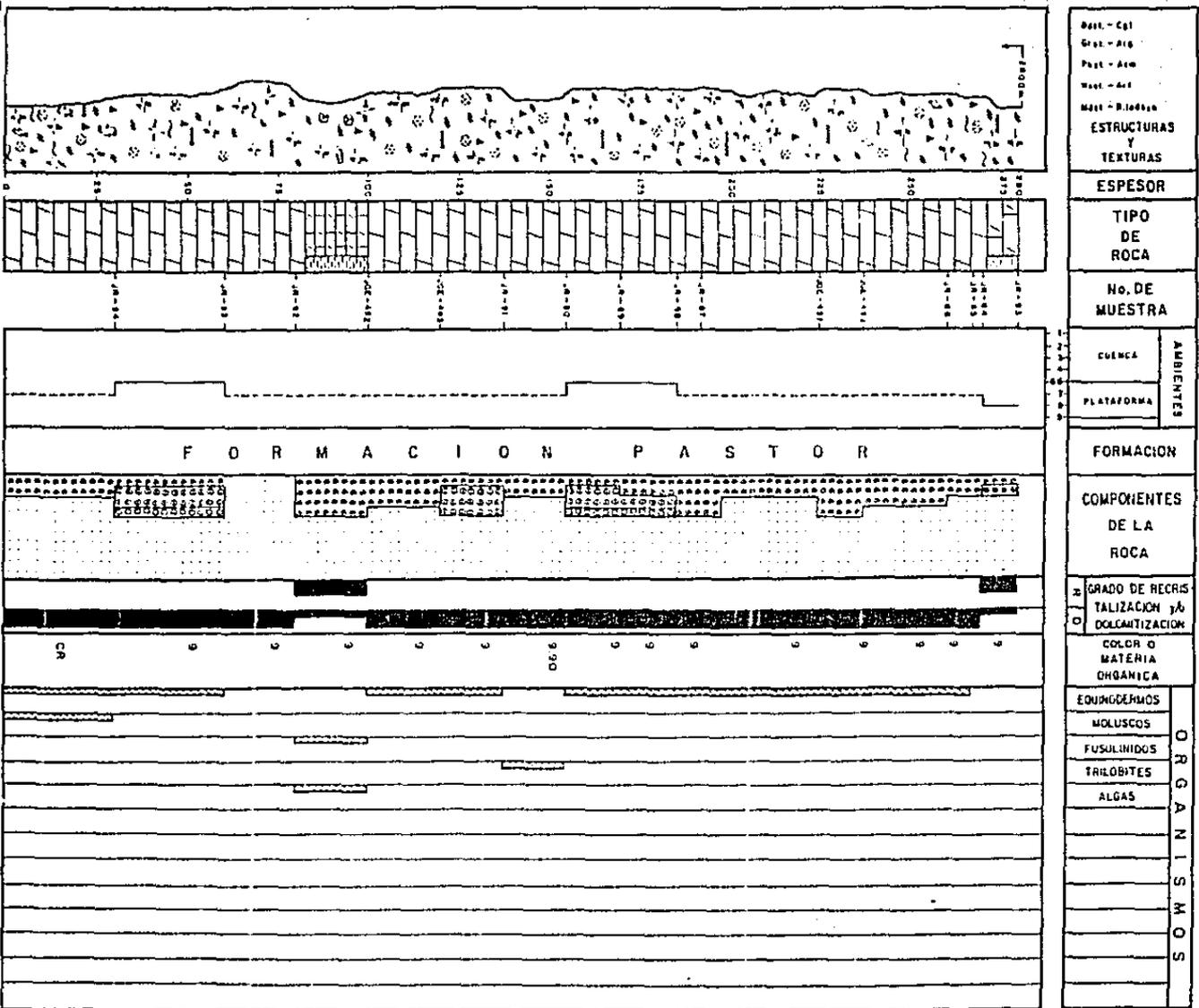


Fig. 20. Columna estratigráfica de la Formación Pastor en la sección de Cerro de Carrizalillo.

#### IV.- INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA SECUENCIA ESTUDIADA

La interpretación paleoambiental se llevó a cabo con base en las observaciones de campo y el estudio petrográfico de secciones delgadas. Para ello se tomó como base las características petrográficas observadas, los constituyentes de las rocas y otros rasgos texturales, que nos permiten identificar su ambiente de depósito dentro de la clasificación de facies standard de Wilson (1975) (Fig.21).

Las láminas I y II muestran en forma general las características que presentan las facies sedimentarias identificadas en este estudio. No se hizo el intento de ilustrar todas las facies en las diferentes localidades por considerarse repetitivo.



Figura 21 - Modelo de facies carbonatadas de Wilson (1975).

## LAMINA I

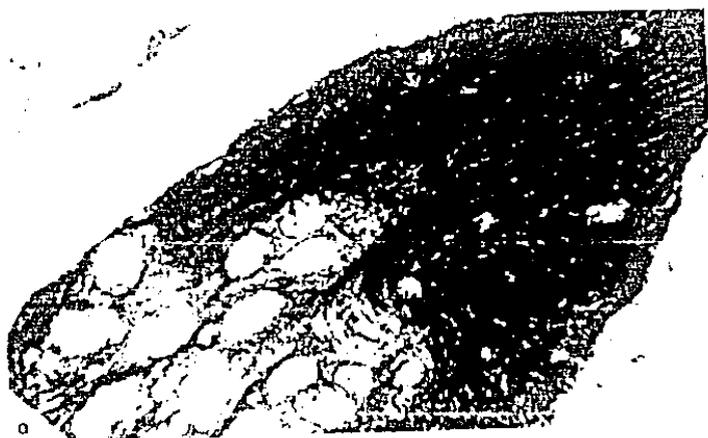
- a.- Muestra las características de las facies 6 de bancos de arenas calcáreas de borde de plataforma externa. Note la presencia de oolitas, en la Formación Monillas (Placer de Guadalupe).
- b.- Observe las características que presentan las facies 6 de bancos calcáreos dentro de la plataforma interna; se puede apreciar la mala clasificación de los granos, en comparación con la de los bancos de plataforma externa. La microfotografía corresponde a sedimentos de la Formación Solís, en Placer de Guadalupe.
- c.- Corresponde a sedimentos de la Formación Pastor en la localidad de Cerro de Enmedio. En esta microfotografía se puede observar en la parte superior un fragmento de coral, así como fragmentos de equinodermos en la parte inferior; los cuales también se encuentran asociados a sedimentos de bancos calcáreos de plataforma interna (Facies 6).  
La longitud de la barra es de 0.158 mm.



LAMINA - I

## LAMINA II

- a.- Fragmento de alga roja en sedimento de facies 6; las manchas blancas dentro del alga corresponden a los organos reproductores de la misma (oogonios). Formación Pastor, en Cerro de Enmedio.
- b.- Corresponde a sedimentos de facies 7, de plataforma media (lagunar). Note la presencia de fusulínidos y el contenido de lodo micrítico característico de esta facies. Formación Pastor en Cerro de Enmedio.
- c.- Sedimentos de facies 8, correspondientes a la Formación Sóstenes en Placer de Guadalupe. Las manchas blancas que se señalan con flechas, corresponden a fragmentos de cuarzo detrítico que caracterizan a estas facies; también se observan fragmentos de equinodermos muy recristalizados. La longitud de la barra en las fotografías es de 0.158 mm.



LAMINA II

## 1.- INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA FORMACION SOSTENES

Con base en el estudio petrográfico de las muestras colectadas en la Formación Sóstenes, se identifican las tres facies sedimentarias (facies 6, 7 y 8) que se describen a continuación.

FACIES 6. En el área de Placer de Guadalupe la constituyen packstones y packstones a grainstones de peloides, placas de equinodermos y fragmentos de: crinoides, algas y en menor cantidad moluscos, braquiópodos, escasos corales; peloides, con cantidades de cuarzo detrítico de 1 a 3 %.

En la Sección de Cerro de Enmedio esta representada por packstones de fragmentos de equinodermos y peloides, en menor cantidad presenta fragmentos de moluscos y gasterópodos, mientras que en el área de Cerro de Carrizalillo está constituida por wackestones a packstones donde son comunes los peloides y fragmentos de equinodermos moluscos y gasterópodos.

La fragmentación de organismos indica que estos sedimentos fueron depositados por acumulación mecánica, influenciados por corrientes de marea, oleaje y corrientes paralelas a la línea de costa, que actúan dentro de la plataforma; lo que refleja condiciones de alta energía. La escasez de material detrítico en estos sedimentos, reflejan poco aporte de áreas positivas. Dadas estas características el depósito se sitúa hacia la plataforma externa.

La abundancia y variedad de organismos en esta facies, es mayor en Placer de Guadalupe que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo, por lo que se puede inferir que las áreas de aporte para la acumulación de estos sedimentos eran diferentes. Es importante tomar en cuenta el grado de recristalización que presentan estas rocas en las localidades estudiadas, ya que es un factor que afecta directamente a las rocas y enmascara la textura original de las mismas, y por consiguiente limita fuertemente la interpretación ambiental de tales sedimentos. También es importante observar el contenido de fragmentos de cuarzo detrítico en esta facies, siendo de 1 a 3 % en la sección de Placer de Guadalupe, mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo el cuarzo detrítico está ausente. FACIES 7. Unicamente se presenta en la sección de Placer de Guadalupe y está representada por wackestones a packstones de fragmentos de: equinodermos, moluscos, crinoides, y en menor proporción braquiópodos, ostrácodos, y algas; presenta cuarzo detrítico entre 1 y 2%. Las características texturales de estas facies sugieren que las condiciones de energía fueron de moderada a baja en un ambiente de plataforma media (lagunar), con influencia clástica derivada de la costa. Esta facies sólo se presenta en dos intervalos estratigráficos, (Fig. 6).

FACIES 8. Esta facies es la que predomina en la mayor parte de la Formación Sostenes. En Placer de Guadalupe está constituida por mudstones a wackestones, wackestones a packstones y ocasionalmente packstones, de fragmentos de: equinodermos, moluscos, algas, braquiópodos, briozoarios,

trilobites, gasterópodos, esporádicamente conodontos, y son comunes los peloides e intraclastos en ciertos intervalos estratigráficos. El contenido de cuarzo detrítico varía de 1 a 5 %, (Lám. I(c)), incrementando en algunos intervalos a 10 y 20 %.

En Cerro de Enmedio esta facies está representada por wackestones y ocasionalmente packstones de peloides y fragmentos de: equinodermos y moluscos. Presenta cantidades de cuarzo detrítico que varían en promedio de 1 a 3 %, incrementándose en ciertos intervalos de 4 a 10%, (Fig. ?); mientras que en Carrizalillo la constituyen wackestones y ocasionalmente wackestones a packstones de fragmentos de: equinodermos, moluscos y escasas laminaciones de algas; siendo comunes los peloides. El contenido de cuarzo detrítico varía de 1 a 3%, incrementando en la parte superior a 8 y 10%, (Fig. 16).

Las características que presentan esta facies y el contenido de cuarzo detrítico, reflejan que estos sedimentos se depositaron en un ambiente de aguas de moderada a alta energía, relativamente someras (plataforma interna), cercanos a la línea de costa y con periodos de alto influjo de sedimentos clásticos que están representados por cuerpos de areniscas observados en diferentes posiciones estratigráficas.

En conclusión se puede decir que la Formación Sóstenes se depositó en un ambiente de plataforma interna, cercana a la costa (facies 7 y 8), donde esporádicamente se desarrollaron pequeños bancos de arenas calcáreas representados por la facies 6.

## 2.- INTERPRETACION AMBIENTAL DE LA FORMACION SOLIS.

Con base en las muestras estudiadas en la Formación Solís, se han logrado identificar las siguientes facies sedimentarias.

FACIES 6. Se presentan en todas las secciones estudiadas. Esta constituida por wackestones a packstones y packstones, de peloides y fragmentos de: equinodermos, crinoides, moluscos. En menor proporción se presentan corales fragmentados, siendo más abundantes en Placer de Guadalupe, comunes en Cerro de Enmedio y prácticamente ausentes en Carrizalillo. En Placer de Guadalupe hay más variedad de bioclastos, observándose entre otros, fragmentos de braquiópodos y algas, son comunes los intraclastos y esporádicamente se observan pisolitas. Presenta cuarzo detrítico que varía entre 1 y 2%.

Las características petrográficas y texturales que presentan estas rocas, sugieren que estos sedimentos se depositaron en un ambiente de alta energía, los cuales podrían estar formando pequeños bancos calcáreos con esporádicos crecimientos de corales, que reflejan un ambiente de plataforma externa en aguas relativamente someras y agitadas, (Lám. Ib).

En Placer de Guadalupe se presenta en diferentes intervalos estratigráficos dentro de la Formación Solís, siendo más comunes en la parte media y superior; mientras que en las secciones de Cerro de Enmedio y Carrizalillo, generalmente se presenta en la parte inferior y media de la formación. (Figs. 12 y 17).

FACIES 7. Sólo se observó en la secciones de Placer de

Guadalupe y Cerro de Enmedio. En la primera esta constituida por packstones, mientras que en el Cerro de Enmedio se caracteriza por wackstones a packstones. Los organismos más comunes en las dos localidades son fragmentos de: equinodermos, moluscos y braquiópodos; en Placer de Guadalupe se presentan en menor proporción gasterópodos, intraclastos, peloides y fragmentos de: briozoarios, algas, y trilobites. El contenido de lodo calcáreo en estas rocas sugieren que las condiciones de energía fueron moderadas a bajas, en un ambiente de plataforma media (lagunar). Esta facies se presenta en la sección Placer de Guadalupe en la parte media y hacia la cima de la formación; mientras que en Cerro de Enmedio es predominante en la parte superior.

FACIES B. Se presenta en las 3 localidades y está constituida por wackstones a packstones y ocasionalmente packstones de fragmentos de: equinodermos, moluscos y crinoides. En Placer de Guadalupe se observó mayor variedad de organismos, entre ellos se encuentran fragmentos de: braquiópodos, algas, trilobites, corales, ostrácodos y son comunes los intraclastos; mientras que los peloides en general se presentan en las 3 secciones. El contenido de cuarzo detrítico, varía en las tres localidades, siendo de 2 a 5 % en promedio en Placer de Guadalupe, incrementando en algunos intervalos de 20 a 30 %; mientras que en Cerro de Enmedio varía de 1 a 4 % en promedio, incrementando al 6 % en la parte superior.

En Carrizalillo el contenido de cuarzo detrítico en general es bajo siendo de 1 a 3 % en promedio. Tomando en cuenta estas

características, se considera que esta secuencia se depositó en un ambiente de plataforma interna en aguas someras y con influencia clástica derivada principalmente de la costa.

En el área de Placer de Guadalupe y Carrizalillo la facies 8 se presenta en diferentes intervalos dentro de la Formación Solís; mientras que en el Cerro de Enmedio se presenta principalmente en la parte inferior y media de la unidad, (Figs. 7, 12 y 17).

De lo anteriormente expuesto se puede observar que el depósito de la Formación Solís se desarrolló en una etapa de transgresión marina, iniciando su depósito en un ambiente de plataforma interna de facies 8, continuando su desarrollo en el área de Placer de Guadalupe en un ambiente de plataforma externa de facies 6; mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo, en la parte superior refleja condiciones de plataforma media (lagunar), culminando su depósito en un ambiente de plataforma interna de facies 8 lo que indica una regresión de los mares hacia estas áreas que culmina con una exposición subaérea manifestada por una discordancia en la cima de la Formación Solís, en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio.

#### FORMACION MONILLAS.

Las características petrográficas que presenta la Formación Monillas en el área de Placer de Guadalupe, reflejan condiciones de depósitos mas o menos constantes, las cuales, de acuerdo al análisis de las muestras estudiadas se interpretaron como

pertenecientes a una facies 6, constituida por una secuencia de wackestones, packstones y grainstones de bioclastos formados por oolitas, peloides, intraclastos y fragmentos de: equinodermos, moluscos, corales, algas, foraminíferos bentónicos, trilobites, ostrácodos y braquiópodos. Los tamaños de las partículas son muy homogéneos y la mayoría de ellos no rebasan el tamaño de las arenas. El contenido de lodo es pobre y la presencia de cementantes es buena, (Lám. Ia).

Con base en las características observadas, se puede inferir que estos sedimentos podrían pertenecer a pequeños bancos de arenas calcáreas, desarrollados por la acumulación de dichos organismos debido a la acción de las corrientes de marea, corriente de fondo, corrientes de oleaje, o corrientes paralelas a la línea de costa (Wilson 1975).

El poco contenido de lodo calcáreo, así como la presencia de oolitas, peloides, intraclastos, ocasionales granos envueltos, y la uniformidad en el tamaño de grano, reflejan condiciones de alta energía, por lo que se puede concluir que los sedimentos de la Formación Monillas en la sección de Placer de Guadalupe se depositaron en un ambiente de plataforma externa bajo condiciones de alta energía.

Debido a que no se tienen evidencias de que existan crecimientos orgánicos de tipo arrecifal, en áreas aledañas durante este período, resulta muy probable considerar que el desarrollo de estos bancos de arenas calcáreas formaban el borde de dicha plataforma, donde el talud de esta tendría una

pendiente muy suave y sus facies estarían representadas por flujos de granos y flujos turbidíticos, siendo poco probable la presencia de brechas (James 1979).

En Cerro de Enmedio la Formación Monillas está constituida por lutitas de color gris oscuro y delgados cuerpos de calizas ligeramente arcillosas. Esta secuencia se encuentra muy cubierta y las calizas se presentan muy recristalizadas y parcialmente dolomitizadas, por lo que no se lograron identificar organismos en láminas delgadas que nos pudieran ayudar en la interpretación ambiental de estas rocas.

En el área de Carrizalillo la Formación Monillas está compuesta por una secuencia de lutitas y limolitas de color gris oscuro y en ocasiones ligeramente carbonosas; no se observó fauna determinativa para su edad y ambiente de depósito, sin embargo los biólogos Leonel Salinas y Tania Jiménez (PEMEX, Zona noreste), revisaron las muestras colectadas en esta formación y encontraron que éstas tenían cierta similitud con las rocas de la Formación Percha del pozo Ojinaga # 1; por lo que consideran que probablemente su ambiente de depósito podría ser de cuenca. Sin embargo no se tienen datos suficientes para apoyar o descartar esta posibilidad; por lo que se requiere de un estudio paleontológico más detallado que nos permita determinar su ambiente de depósito, tanto en esta localidad como en Cerro de Enmedio.

#### FORMACION PASTOR.

Con base en el estudio de las muestras colectadas en esta

unidad, se identificaron las siguientes facies sedimentarias.

FACIES 6. Constituida por packstones a wackestones de fusulínidos, intraclastos, peloides y fragmentos de: corales, equinodermos, moluscos y algas. En Cerro de Carrizalillo se presentan algunos intervalos de macro y meso dolomías con fantasmas de oolitas; estos sedimentos reflejan condiciones de alta a moderada energía y la uniformidad de los granos es buena. Esta facies se presenta sólo esporádicamente en algunos intervalos localizados en diferentes posiciones estratigráficas (Fig. ?).

FACIES 7. Se caracteriza por una secuencia de wackestones y ocasionalmente packstones, (Lám. Ia) de peloides y fragmentos de equinodermos, fusulínidos; moluscos, algas. (Ivanovia, sp. y Komia, sp.), ostrácodos, trilobites, corales, escasos braquiópodos. La presencia de lodo es común y los fusulínidos y otros foraminíferos bentónicos generalmente se presentan completos (Lám. IIb). De acuerdo a las características observadas en estos sedimentos, se puede considerar que se depositaron en un ambiente de plataforma interna (Lagunar ?), donde las condiciones de energía fueron de moderada a baja; lo cual propició condiciones ambientales que favorecieron el desarrollo de una gran variedad faunística predominando entre otros los foraminíferos bentónicos y los equinodermos. Esta facies en forma general es la que predomina en toda la Formación Pastor.

En Carrizalillo la mayor parte de la Formación Pastor está

constituida por dolomías, lo cual limita mucho su interpretación ambiental. Sin embargo, se ha observado que las rocas que constituyen esta formación en el área de Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio presentan características muy similares en cuanto a su ambiente de depósito; por tal motivo, en el área de Carrizalillo, se ha inferido un ambiente de depósito semejante al de las localidades arriba mencionadas.

FACIES 8. Se presenta en forma muy esporádica, observándose un poco más frecuentemente hacia la cima de la unidad. Se caracteriza por una secuencia de wackestones y muy esporádicamente grainstones de algas; conteniendo fragmentos de: equinodermos, escasos foraminíferos bentónicos, moluscos, ostrácodos e intraclastos; con cantidades de cuarzo detrítico que varían entre 5% y 6%. El carácter de estos sedimentos se interpreta como de plataforma interna cercana a la costa y con influencia clástica.

De acuerdo a las características observadas en estos sedimentos, se puede inferir que el depósito de la Formación Pastor se llevó a cabo en un ambiente de plataforma interna (lagunar ?), la cual estuvo influenciada tanto por sedimentos de facies 6 como de facies 8.

## V.- EVOLUCION SEDIMENTOLOGICA DEL ORDOVICICO-PERNICO TEMPRANO

Con base en la columna estratigráfica estudiada y tomando en cuenta las opiniones de otros autores en los trabajos consultados en esta investigación se infiere la siguiente evolución sedimentológica.

En el área de estudio aflora una secuencia calcárea con fuerte influencia terrígena, representada por la Formación Sóstenes, que se depositó durante el Ordovícico Temprano y Tardío en un ambiente de plataforma interna de aguas someras que representa la continuación de una etapa de transgresión marina que inició durante el Paleozoico Temprano (Cámbrico) y que continuó en gran parte de este período.

En esta etapa transgresiva, los mares ordovícicos ocuparon una gran parte del estado de Chihuahua (Bridges, 1970), dando origen al desarrollo de una plataforma, en donde el área de Placer de Guadalupe probablemente se encontraba más cercana a la línea de costa; mientras que hacia Cerro de Enmedio y Carrizalillo parece ser que la profundidad de las aguas era un poco mayor, denotándose esto por el menor contenido de cuarzo detrítico que presenta esta secuencia en el área de Carrizalillo.

Durante este tiempo, las condiciones de energía, fluctuaciones del nivel del mar y/o relaciones de sedimentación eran variables, reflejándose estas por pequeños desarrollos de bancos calcáreos que manifiestan ambientes de alta energía

(plataforma externa).

Para fines del Ordovícico Tardío hasta el Silúrico Medio-Tardío, se deposita la parte inferior y media de la Formación Solís en un ambiente de plataforma interna, con pequeños desarrollos de bancos calcáreos con esporádicos crecimientos de corales, que reflejan condiciones de alta energía. En el área de Placer de Guadalupe se manifiestan fuertes influjos de terrígenos que disminuyen hacia Cerro de Enmedio y Carrizalillo, los cuales presentan condiciones muy similares a las que prevalecieron durante el depósito de la Formación Sostenes.

Durante el Silúrico Tardío y parte del Devónico Medio Temprano, en el área de Placer de Guadalupe se deposita la parte superior de la Formación Solís, representada por una secuencia carbonatada con esporádicos crecimientos de corales y probablemente pequeños desarrollos de bancos calcáreos que reflejan condiciones de alta energía en un ambiente de plataforma externa; mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo estas condiciones cambian a un ambiente de plataforma media (lagunar), que se manifiestan en la parte superior de la Formación Solís.

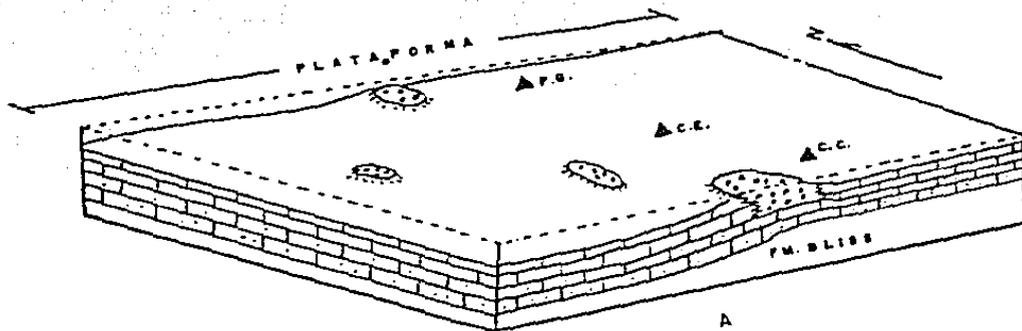
A partir del Devónico Medio Temprano, en el área de Placer de Guadalupe, se manifiesta un período de erosión o no depósitos (Bridges, 1965), que prevalece hasta el Misisípico Tardío; lo cual impide el depósito del miembro inferior de la Formación Monillas. En Cerro de Enmedio al parecer la sedimentación fue más continua, lo que permitió que este miembro comenzara su

depósito en el Devónico para interrumpirse durante el Misisípico Temprano y Medio. En Carrizalillo no se tienen evidencias de que existan dichos periodos de no depósito.

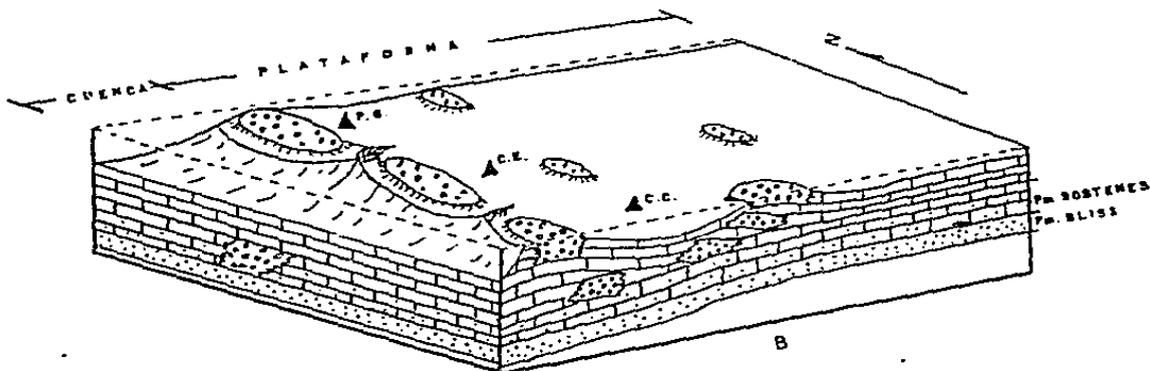
Durante el Misisípico Tardío y Pensilvánico Temprano, en Placer de Guadalupe se lleva a cabo el depósito de una secuencia calcárea ligeramente arcillosa que constituye el miembro superior de la Formación Monillas; esta secuencia refleja condiciones de alta energía (plataforma externa), que por las características petrográficas que presenta, constituyan pequeños bancos de arenas carbonatadas que probablemente conformaban el borde de dicha plataforma, cuyo talud se localizaba al oeste de estas áreas; mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo, aunque no se tenga un apoyo paleontológico que nos permita definir su ambiente de depósito, es muy probable que el depósito de esta secuencia se llevó a cabo en un ambiente de plataforma interna o bien en zonas lagunares protegidas. De esta forma se tiene que las condiciones se mantuvieron más o menos constantes durante el depósito de esta secuencia, ya que en Placer de Guadalupe se mantienen las condiciones de alta energía (plataforma externa), y en Cerro de Enmedio y Carrizalillo prevalecen las condiciones de plataforma interna o lagunar.

Durante el Pensilvánico Temprano y Pérmico Temprano, se deposita la Formación Pastor constituida por una secuencia eminentemente carbonatada que refleja condiciones de depósito de plataforma media, con pequeños cambios en la sedimentación representados por depósitos de facies 6 (plataforma externa).

Este período de sedimentación culmina con depósitos que presentan condiciones de plataforma interna (facies 8) con influencia de terrígenos (cuarzo detrítico de aproximadamente 6 %) en la parte superior de la Formación Pastor; los cuales a partir de este tiempo se hacen más importantes, hasta cambiar totalmente de una sedimentación netamente calcárea a una sedimentación primordialmente clástica.

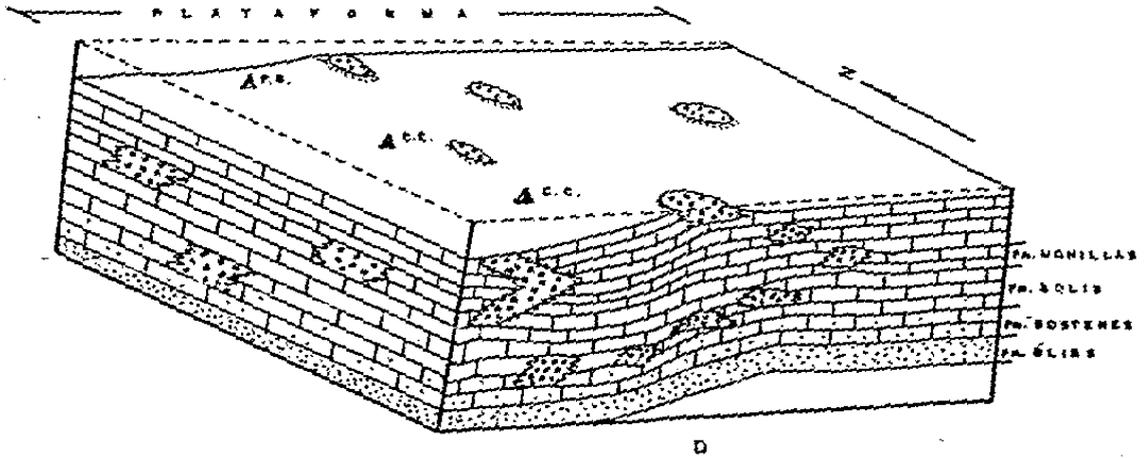
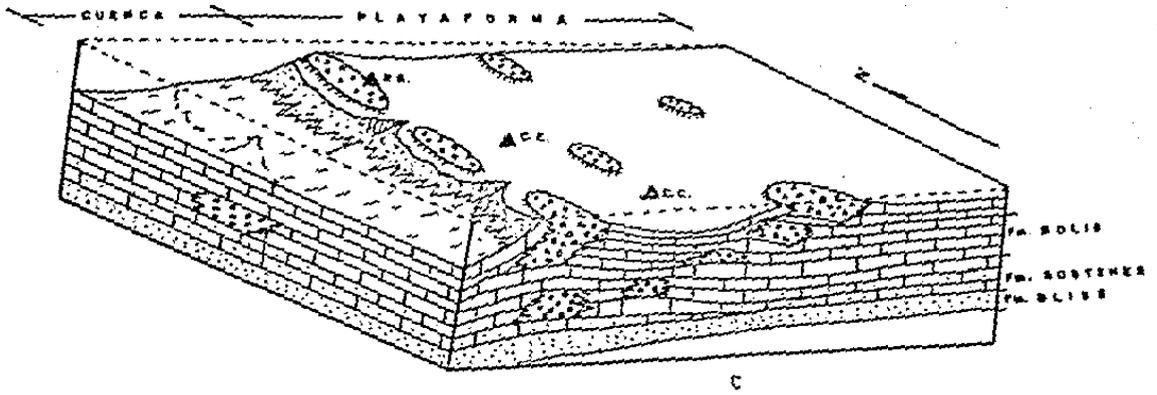


A



B

MODELOS ESQUEMATICOS DE EVOLUCION PALEOAMBIENTAL  
 DE LAS FORMACIONES: A=SOSTENES; B=SOLIS; C=MONILLAS  
 Y D=PASTOR



## VI.- ETAPAS Y AMBIENTES DIAGENETICOS IDENTIFICADOS EN LA SECUENCIA ESTUDIADA.

En el presente estudio se identificaron 13 procesos diagenéticos, (bioturbación, cementación, compactación, disolución, dolomitización, fracturamiento, hidrotermalismo, micritización, oxidación, perforaciones por organismos, presión-solución, recristalización y silicificación), algunos de los cuales se presentan en más de una ocasión dentro de la historia diagenética. De manera similar se identificó, dentro de la paragénesis, la presencia de hidrocarburos; ya sea como expulsión o migración de los mismos.

Debido a la complejidad diagenética de la secuencia fue necesario el situar cada uno de estos procesos de acuerdo a los ambientes diagenéticos en los cuales se llevaron a cabo, tomando como base para esto, los propuestos por diferentes autores. Así mismo, se relacionaron dichos procesos a las etapas diagenéticas propuestas por Choquette y Pray (1970). (Fig. 22).

ETAPA DIAGENETICA Choquette y Pray (1970)	Procesos D. Relacionados	Ambiente Diagenético
Predeposicional y Deposicional	Bioturbação Perforaciones por organismos Micritización	Sindeposicional
Eogenética	Disolución	Vadoso subaéreo
sepultamiento temprano	Cementación-1 Cementación-2 Cementación-3 Cementación-4	Vadoso freático marino
Mesogenética-1	Compactación Presión-Sol.-1 Dolomitización-1	Subsuelo sepultamiento intermedio
"	Fracturamiento-1 Dolomitización-2 Presión-Sol.-2 Expulsión de Hidrocarburos Dolomitización-3 Migración-1	Subsuelo Sepultamiento Profundo
Telogenética-1	Disolución-2 Cementación-5 Oxidación-1	Meteórico Post- sepultamiento
Mesogenética-2	Fracturamiento-2 Migración-2 Presión-Sol.-3 Dolomitización-4 Fracturamiento-3 Hidrotermalismo Recristalización	Subsuelo Sepultamiento Profundo
Telogenética-2	Presión-Sol.-4 Dolomitización-5 Silicificación Oxidación-2	Post- sepultamiento tectónico y post-tectónico

Fig. 22. Etapas, ambientes y procesos diagenéticos identificados en la secuencia estudiada.

## A) AMBIENTES DIAGENÉTICOS Y PROCESOS INVOLUCRADOS

1.- Ambiente Sindeposicional.- Comprende los procesos involucrados desde el momento de depósito hasta los inicios del sepultamiento de dicho material.

Los procesos diagenéticos en este ambiente son variados, siendo común entre ellos, la disolución de granos de carbonato y alteración de feldespato y micas; en este ambiente los sedimentos contienen abundante materia orgánica, lo que provoca una gran diversidad y actividad de organismos depredadores y oxidantes.

Los procesos diagenéticos que se identificaron en este trabajo, que se relacionan a este ambiente son: bioturbación, perforaciones hechas por organismos y micritización de partículas carbonatadas. Dichos procesos y ambiente corresponden a la etapa predeposicional y deposicional de Coquette y Pray (1970), cuya duración puede variar desde unos cientos de años en áreas de baja sedimentación hasta ser prácticamente cero en aquellas áreas donde existe un rango de sedimentación alto.

2.- Ambiente Vadoso.- El ambiente vadoso es la zona subaérea que se encuentra entre la superficie del terreno y el nivel freático; la parte superior corresponde a la zona de disolución y la inferior, a la zona de precipitación (cementación). El límite entre estas zonas es gradual y puede fluctuar considerablemente debido al clima y a la cantidad de lluvias.

Los procesos diagenéticos relacionados a este ambiente se

caracterizan por zonas de disolución provocadas por el agua meteórica en la parte superior de esta zona, y por cementación en la parte inferior.

Ambiente Freático. - El ambiente freático puede ser dividido en dos tipos que son el freático marino y el freático de agua dulce. a) Zona Freática Marina. - Puede ser dividida en dos subzonas: subzona freática marina activa y subzona freática marina estancada. En la primera subzona la circulación del agua de mar dentro del sedimento, combinada con otros procesos como fotosíntesis y pérdida de  $\text{CO}_2$ , permiten que se lleve a cabo la cementación; en el caso de este trabajo serían las cementaciones (C-1 de palizada y crecimiento sintaxial).

En la subzona estancada la circulación del agua es relativamente lenta, por lo que en esta la cementación no ocurre (Vera y Torres, 1987); dando lugar primordialmente a sustituciones.

b) Zona Freática de Agua Dulce. - El límite inferior es gradacional con aguas marinas en áreas próximas al mar, mientras que en áreas continentales gradada hacia abajo a una zona con fluidos subterráneos que pueden contener salmueras derivadas de compactación de sedimentos.

Esta zona también puede dividirse en dos subzonas que son: 1) Subzona subsaturada, y 2) Subzona saturada activa. En la primera, el agua meteórica puede pasar a través de la zona vadosa sin saturarse, aprovechando fracturas, cavidades o

sumideros; lo cual provoca disoluciones en el sedimento o rocas, formando una cavidad móldica o cavernosa.

La zona saturada activa se caracteriza por presentar una cementación extensa debido a la alta circulación de agua.

Estos ambientes en general corresponden a la etapa eogenética de Choquette y Pray (1970), sin embargo estas mismas condiciones podrían presentarse en una etapa telogenética o de emersión. Su diferenciación estará dada por su posición relativa dentro de la paragénesis, y para este estudio se citó en en la etapa eogenética disolución-1 y las cementaciones 1, 2, 3 y 4.

3.- Ambiente de Subsuelo. - El límite superior es transicional con los ambientes diagenéticos arriba mencionados, pero no está bien delimitado ya que la efectividad de algunos procesos relacionados a la superficie pueden disminuir gradualmente con la profundidad, y otros procesos diferentes pueden comenzar a operar a diferente profundidad. La manera que se consideró más práctica para el manejo de este ambiente fue el dividirlo en dos subambientes de acuerdo a la profundidad de sepultamiento y a los procesos diagenéticos relacionados. El primero de ellos se denomina ambiente de subsuelo de sepultamiento intermedio, al cual se relacionan los procesos que manifiestan rasgos claros de sepultamiento, pero que no presentan evidencias de un sepultamiento intenso. Por lo tanto los procesos diagenéticos que se relacionan a este ambiente son: compactación, presión-solución-1 y dolomitización-1, que son los procesos que se llevan a cabo antes del primer período de fracturamiento y que

corresponden a la parte superior de la etapa mesogenética de Choquette y Pray (1970).

El ambiente de sepultamiento profundo se relaciona a aquel donde las rocas empiezan a presentar rasgos más marcados de sepultamiento. Los procesos diagenéticos relacionados a este ambiente que corresponde a la parte inferior de la etapa mesogenética son varios; entre ellos se presentan tres periodos de fracturamiento (F1, F2 y F3), tres periodos de dolomitización (D2, D3 y D4), dos periodos de presión-solución, una expulsión de hidrocarburos, dos periodos de migración (Mgr-1 y 2), el hidrotermalismo y la recristalización.

La abundancia de procesos registrados en esta etapa es debido a que en la historia de sepultamiento de estas rocas se manifiesta una etapa de levantamiento a finales del Pérmico y posteriormente se registra una segunda etapa de sepultamiento que inicia a principios del Jurásico Tardío; por lo que se considera lógica esta cantidad de procesos en esta etapa.

4.- Ambiente Post-Sepultamiento.- Este ambiente se relaciona a la etapa de levantamiento de las rocas, etapa telogenética, en la cual se pueden presentar condiciones muy semejantes a las de los ambientes correspondientes a la etapa eogenética; por lo que es de esperarse que algunos de estos procesos diagenéticos se lleven a cabo bajo condiciones similares.

El límite superior de esta zona, es la interfase erosional subaérea o subacuosa; el inferior es gradual y se localiza a la profundidad a la cual los procesos erosionales son

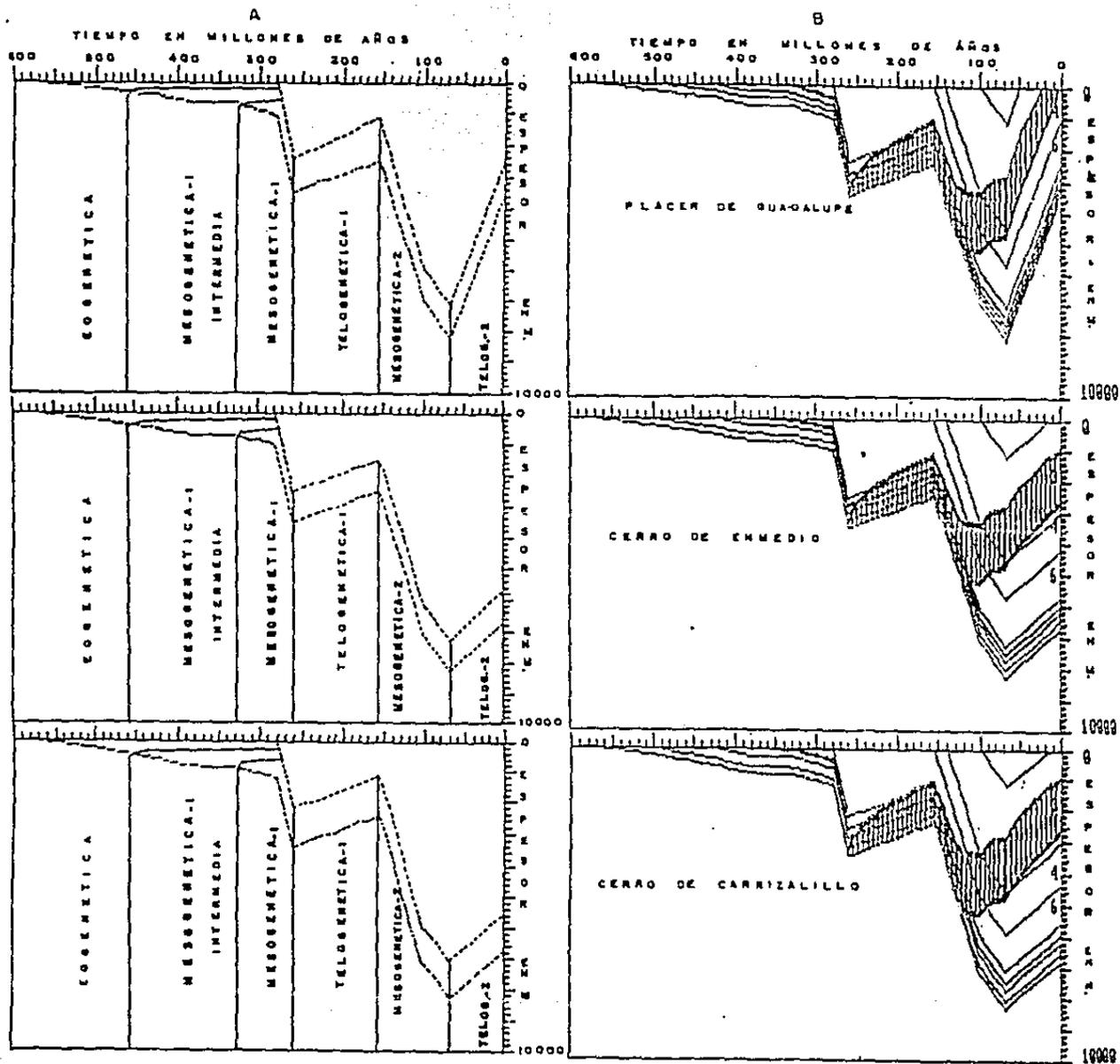
Insignificantes. Los procesos diagenéticos que se relacionan a esta etapa son: presión-solución-4, dolomitización-5, disolución-2, cementación-5, silicificación y oxidación 1 y 2.

## B) HISTORIA DE SEPULTAMIENTO

Historia de Sepultamiento.- La historia de sepultamiento del área de estudio se resume con la figura 23, a la cual el lector será referido para mayores detalles. Así mismo se comentan los procesos diagenéticos relacionados a las diferentes etapas de sepultamiento, durante la evolución de los sedimentos, iniciando desde su depósito hasta la exposición actual en la superficie; los cuales serán relacionados con las etapas diagenéticas propuestas por Choquette y Pray (1970).

Durante el Cámbrico al Devónico Medio, las rocas que constituyen las Formaciones Bliss, Sóstenes y Solts, muestran un sepultamiento moderado y continuo, que refleja condiciones relativamente estables, denotando que la subsidencia fue principalmente originada por el peso de los sedimentos. Los procesos diagenéticos más comunmente observados durante el depósito de estos sedimentos, son la bioturbación, perforación por organismos, micritización de partículas carbonatadas, así como también se presentan diferentes periodos de cementación, que generalmente se presentan en la etapa eogenética durante el sepultamiento temprano.

Para fines del Devónico Medio, las rocas de las Formaciones Bliss y Sóstenes, (Fig. 23), manifiestan un sepultamiento ligeramente mayor (etapa mesogenética-1 de sepultamiento



VENTANA DE GENERACION DE HIDROCARBUROS

A: ETAPAS DIAGENÉTICAS RELACIONADAS CON LAS CURVAS DE SEPULTAMIENTO

B: CURVAS DE SEPULTAMIENTO

FIG. 23 RELACION DE ETAPAS DIAGENÉTICAS EN LAS LOCALIDADES ESTUDIADAS

intermedio), donde los procesos diagenéticos que actuaron en estas rocas fueron, dolomitización-1 y presión-solución-1, (Fig. 22). En esta etapa no se observaron rasgos de compactación probablemente debido en gran parte a la presencia de cementantes.

Durante este tiempo finaliza el depósito de la Formación Solís, en la cual los procesos diagenéticos que actuaron corresponden a los de las etapas de depósito y de sepultamiento temprano (etapa eogenética). Estos procesos son similares a los observados en la Formación Sóstenes, a excepción del proceso de disolución, que refleja condiciones de exposición subaérea, durante cortos intervalos de tiempo.

En el Devónico Medio y Misisípico Medio, en el área de Placer de Guadalupe, (Fig. 23), se registra un período de no depósito, mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo la sedimentación fue continua y sólo se observa un corto intervalo de no depósito en Cerro de Enmedio durante el Misisípico Temprano y Medio. Durante este tiempo, las condiciones de subsidencia no cambiaron en Placer de Guadalupe, mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo la subsidencia continuó normal, salvo ligeras variaciones en Cerro de Enmedio.

Los procesos diagenéticos más marcados en este tiempo, sólo se reflejan en la parte superior de la Formación Solís, en el área de Placer de Guadalupe, que presenta huecos de disolución debido a condiciones de exposición subaérea de estas rocas.

A partir del Misisípico Tardío hasta principios del Pérmico

Temprano, se depositan las Formaciones Monillas y Pastor. La subsidencia se va incrementando paulatinamente y las rocas de las unidades inferiores comienzan a manifestar este sepultamiento, que se rompe bruscamente para dar origen a una subsidencia mayor durante el Pérmico Temprano y origina también un cambio brusco en la sedimentación; de una sedimentación netamente calcárea a una sedimentación eminentemente clástica. Durante este tiempo las rocas de esta secuencia sufren un sepultamiento profundo (etapa mesogenética), durante el cual quedan sujetos a otros procesos diagenéticos más intensos que se manifiestan por un período de fracturamiento, dolomitización y procesos de presión-solución; así mismo dichas rocas entran a condiciones favorables para generar hidrocarburos, que se manifiestan por la presencia de aceite residual en estilolitas (etapa de expulsión) en las Formaciones Sóstenes y Solís en el Cerro de Enmedio y en la Formación Sóstenes en el área de Carrizalillo. También se encuentra asociado a una porosidad intercrystalina provocada por la dolomitización (migración-1) en las Formaciones Sóstenes, Solís y Pastor, en Cerro de Enmedio y en la Formación Pastor en Placer de Guadalupe.

Como se puede observar en las gráficas de la figura 23, esta etapa de sepultamiento durante el Pérmico Temprano fue muy rápida; lo que refleja un período de inestabilidad tectónica en estas áreas.

A finales del Pérmico Tardío, las rocas paleozoicas comienzan a manifestar un levantamiento paulatino que podría ser relacionado a la colisión continental de Africa y Sudamérica con Norteamérica; como lo reporta Handschy, (1987), Keller y Dyer (en

prensa). Este levantamiento da como resultado la exposición de la parte superior de la Formación Verde (primera etapa telogénica), y continúa durante todo el Triásico y Jurásico Medio. Durante este tiempo de exposición, las rocas de la parte superior de la Formación Pastor, manifiestan evidencias de disolución y cementación, por lo que se puede considerar que dichas rocas estuvieron influenciadas por percolaciones de aguas meteóricas; aprovechando la porosidad y permeabilidad de los sedimentos clásticos de la Formación Plomosas.

A partir del Jurásico Tardío, las rocas del Paleozoico inician un nuevo sepultamiento evidenciado por el depósito de la Formación la Casita. Durante este tiempo las rocas paleozoicas sufren un segundo período de fracturamiento, y como estas rocas aún se mantienen dentro de la ventana de la generación de hidrocarburos, se registra un segundo período de migración, que se presenta asociado al segundo período de fracturamiento observado en la Formación Monillas en el Cerro de Enmedio. A medida que el sepultamiento avanza, las rocas del Paleozoico salen de la ventana de generación, mientras que las rocas del Jurásico Tardío quedan en condiciones de poder generar hidrocarburos a principios del Cretácico Temprano. Durante este tiempo los procesos diagenéticos que manifiesta la secuencia paleozoica se reflejan con períodos de presión-solución y un cuarto período de dolomitización que se origina por la disolución de calcitas magnesianas debido al proceso de presión-solución. El sepultamiento continúa progresivamente durante el resto del Cretácico, originando que las rocas del Jurásico Tardío salgan de la ventana de

generación, mientras que las rocas del Cretácico Temprano inician su etapa de generación a principios del Cretácico Tardío y al parecer, por lo menos parte del Cretácico Inferior, aún se mantiene dentro de la ventana de generación.

Mientras estos procesos ocurrían en rocas del Cretácico, las rocas del Paleozoico manifestaban un tercer periodo de fracturamiento que muy probablemente fue originado por intrusiones de rocas ígneas que dieron lugar a procesos hidrotermales que se manifiestan por la presencia de minerales del grupo de los anfíboles y piroxenos en el área de Carrizalillo.

Este periodo de sepultamiento culmina con una intensa recristalización a finales del Cretácico Tardío y principios del Terciario, el cual se manifiesta en la mayor parte de las rocas del Paleozoico.

A finales del Cretácico Tardío y principios de Terciario se inicia una etapa de levantamiento (Telogenética-2) que coincide con los inicios de la Orogenia Laramide. En esta etapa los esfuerzos compresivos originados por este evento tectónico, provocaron procesos de presión-solución en las rocas paleozoicas, así como también se originan procesos de dolomitización provocados por antiguos niveles freáticos durante la etapa de levantamiento de estas rocas. A medida que continuaba la emersión, se presentan procesos de silicificación, provocado por la acción de aguas meteóricas con bajo pH y saturadas de sílice. Finalmente, al quedar expuestas en la superficie bajo condiciones oxidantes, estas rocas sufrieron una oxidación selectiva que se manifiesta en toda la secuencia paleozoica.

## VII.- DESCRIPCION E INTERPRETACION DE PROCESOS DIAGENETICOS IDENTIFICADOS

### A.- PROCESOS DIAGENETICOS

Bioturbación.- En la presente investigación solamente se observaron estructuras de bioturbación en la Formación Pastor de la sección de Cerro de Enmedio, las cuales se presentan en forma de pequeñas horadaciones asociadas a sedimentos o rocas pertenecientes a un ambiente de depósito de plataforma interna (facies-B) (Lám. IIIa).

Estas estructuras son producidas por la actividad de organismos que viven en la superficie o dentro del sedimento, (Richter 1936, 1937 y 1952, en Reineck y Singh, 1975); cuyos procesos fueron caracterizados por Shafer (1956, en: Reineck y Singh, op. cit.), considerando la forma de vida de organismos bentónicos epibiónticos sésiles y vágiles, hemiendobiónticos vágiles y endobiónticos sésiles y vágiles tales como moluscos, crustáceos, anélidos, y rizoides de plantas como (Thalasia sp.); que producen diferentes estructuras, las cuales contribuyen a una alteración en la distribución del tamaño del grano original del sedimento (Flugel, 1982); así como también modifican la porosidad primaria en los sedimentos antes de su litificación (Reeckman y Friedman, 1982).

Dichas estructuras pueden ser: huellas de restos de organismos, marcas de deslizamiento, horadaciones, estructuras

de depredación y galerías; las cuales presentan formas moteadas con diferentes colores y diferente tamaño de grano.

Perforaciones. - En el área de estudio es común observar estas perforaciones, las cuales se presentan como pequeñas oquedades que se manifiestan generalmente en fragmentos de equinodermos, crinoides y esporádicamente moluscos; por lo general estas perforaciones se encuentran rellenas de micrita.

El origen de estas perforaciones, regularmente son producto del ataque de algas endolíticas (verde-azules y raramente rojas) y hongos a partículas carbonatadas y conchas de organismos; mientras estos organismos pasan de climas tropicales a templados, la actividad de algas verde-azul disminuye, y las perforaciones de algas rojas y verdes incrementa considerablemente (Friedman y Sanders, 1984).

La actividad de otros organismos tales como esponjas, que son capaces de perforar conchas de ostreas y arrecifes de coral, y otros organismos tales como gasterópodos que perforan las conchas de otros moluscos; debilitan el material que ha sido perforado, y que posteriormente por fuerzas mecánicas de las olas finalmente se desintegran en partículas del tamaño de lodo y arenas.

Micritización. - Los procesos de micritización deben su origen generalmente, al ataque de ácidos orgánicos producidos por algas endolíticas y hongos en partículas carbonatadas. Esta

### LANINA III

- a.- Corresponde a sedimentos de facies 7, de plataforma media (lagunar). Obsérvese en la parte media de la fotografía la bioturbación provocada por la actividad de organismos bentónicos, en la parte derecha de la fotografía se observa un fusulínido. Formación Pastor en Cerro de Enmedio.
- c y d.- Muestran la presencia de cementación temprana, la primera corresponde a cementación de palizada y la segunda de crecimiento sintaxial; corresponden a sedimentos de facies 8 de la Formación Sóstenes en Placer de Guadalupe.
- b y e.- Corresponden a una cementación de mosaico, dentro de una etapa diagenética tardía. la primera se encuentra asociada a zonas de disolución, por percolación de aguas meteóricas (Formación Pastor en Cerro de Enmedio); y la segunda (e) corresponde a una cementación de mosaico en un ambiente freático marino. En los bordes de las partículas del lado izquierdo y derecho, se observa también una cementación temprana de palizada (cristales más chicos). Formación Solís en Placer de Guadalupe.  
La longitud de la barra es de 0.158 mm.



—



micritización es más efectiva en ambientes marinos de aguas someras no mayores a los 70 metros (Budd y Perkins, 1980, en James, 1983), donde la luz solar y limpieza del agua son factores importantes para el desarrollo fotosintético de estos organismos; sin embargo, no se descarta la posibilidad de encontrar micritización de partículas en profundidades abisales, que son provocadas por algas heterotróficas y bacterias, (Friedman, et al., 1971, en: James, 1983). En ocasiones, cuando el ataque bioquímico de estas algas (generalmente verde-azul y verdes), se restringe a las márgenes de los granos, se forma un anillo microcristalino de calcita de alto magnesio o aragonita llamado "envolvente micrítico", cuya estructura original es difícil de reconocer, (Kendall y Skipwith, 1969; en James, 1983). Esta micritización pervasiva, generalmente es común en grainstone (Bathurst, 1971) y estromatolitos (Logan, 1974, en: James, 1983). La micritización de partículas carbonatadas en esta secuencia del Ordovícico-Pérmico Temprano, generalmente se presenta en menor o en mayor grado en todas las facies sedimentarias identificadas, las cuales corresponden a una micritización en condiciones de aguas someras.

Disolución.- Los procesos de disolución generalmente se presentan en las rocas cuando estas quedan expuestas a condiciones subaéreas y bajo la influencia de aguas meteóricas. Tales procesos regularmente se llevan a cabo en la parte superior de la zona vadosa, donde las aguas meteóricas de bajo pH y bajo saturadas con respecto al carbonato de calcio, provocan la disolución parcial de carbonatos ya sea en forma de cementos o rocas (Longman, 1981) (Lám. IIb). El proceso

continúa de tal forma que al ir avanzando el agua, ésta se va enriqueciendo en carbonatos, siendo cada vez menos efectiva la disolución, hasta ser prácticamente nula cuando el agua queda sobresaturada con estos elementos, y se inicia entonces la precipitación de cementos.

En el área de estudio se observaron dos procesos de disolución, el primero de ellos se presenta en las secciones de Placer de Guadalupe y Carrizalillo, en las facies 6 y 8 de las Formaciones Solís y Pastor; mientras que el segundo sólo se presenta en la Formación Pastor de la sección de Placer de Guadalupe.

Cementación.- En el transcurso de esta investigación, se identificaron cinco eventos de cementación siendo la primera de ellas (C1) una cementación temprana, que en forma muy general es característica de las facies 6 y 8 dentro de esta secuencia estratigráfica.

Dentro de esta cementación temprana (C1) se presentan dos tipos de cementos que son:

a) Cemento Fibroso o de Palizada.- El origen y desarrollo de este tipo de cemento, generalmente se lleva a cabo en un ambiente freático marino somero (típico de ambientes de alta energía), donde la acción de mareas, olas y corrientes, son capaces de mover el agua dentro del sedimento (Vera y Torres, 1987), siendo esto un factor importante para la precipitación de cementos; ya que provoca una desgasificación de  $CO_2$  con la

consecuente precipitación de carbonatos.

Este tipo de cemento comunmente se presenta en forma de cristales fibrosos que crecen perpendicularmente de la pared del grano hacia el espacio poroso y presentan una gran variedad de texturas causadas por diferentes factores, siendo común entre otros, la naturaleza del poro (Lám. IIIc y e). La composición química de estos cementsos generalmente es de calcita de alto magnesio y aragonita, y el criterio petrográfico para diferenciarlos radica principalmente en la morfología de los cristales. En este caso en particular, resulta muy difícil hacerlo debido al estado de alteración que presentan las rocas. Este tipo de cemento sólo se presenta esporádicamente en toda la secuencia de la sección de Placer de Guadalupe y en un intervalo de la Formación Pastor en el área de Carrizalillo.

b) Cemento de Crecimiento Sintaxial.- Se presenta principalmente en los fragmentos de equinodermos, conocido como cemento anular (Bathurst, 1975; en: Vera y Torres, 1987), y "cementación por agrandamiento", reportada por otros autores. Esta cementación, tiene su origen en ambientes diagenéticos marinos, (ambiente meteórico con presencia de agua dulce) o en exposición subaérea; donde el crecimiento de estos cementsos es influenciado por la composición química del substrato en el cual se lleva a cabo la nucleación (Vera y Torres, 1987).

En este caso, como el equinodermo es muy poroso, a medida que los poros del espécimen se van llenando, el volúmen de cemento se incrementa; de tal forma que el cristal original (equinodermo) y el sobrecrecimiento, forman un solo cristal más

grande compartiendo los mismos ejes cristalográficos, de ahí la continuidad óptica. Este tipo de cementación es el que predomina con respecto al de palizada, y comunmente se observa en la facies 6 y 8 de esta secuencia estratigráfica, y muy esporádicamente se presentan en la facies 7 (Lam. IIIId).

Cementación (C2 y C-5)..- Corresponden a una cementación de mosaico. Se caracterizan por presentar cristales de calcita espática que rellenan el espacio poroso conformando un crecimiento granular. Aunque estos tipos de cementos son muy semejantes, corresponden a etapas y ambientes diagenéticos diferentes.

La cementación (C-2) corresponde a un evento diagenético posterior a las cementaciones (C-1) que se originan en una etapa diagenética temprana. Este tipo de cemento se desarrolla en los espacios porosos, en donde el mosaico formado por cristales de calcita queda limitado hacia los extremos por cementos de palizada o bien por cementos de crecimiento sintaxial.

El origen y desarrollo de este cemento, se lleva a cabo en un ambiente freático marino; mientras que la cementación (C-5) corresponde a una etapa donde existió una emersión de la secuencia durante el Permo-Triásico. Debido a ello, existió una disolución diferencial en un ambiente meteórico vadoso, donde las aguas meteóricas al ser saturadas por carbonato de calcio, precipitan éste en forma de cemento. Se presenta relleno los huecos producidos por la disolución, constituyendo cristales de calcita en forma de mosaico.

La composición química de este tipo de cemento, generalmente presenta un contenido bajo en sodio y magnesio debido a que el agua meteórica está infrasaturada de estos elementos.

Cementaciones C3 y C4. - Corresponden a cementos arcillosos que se identificaron petrográficamente como pertenecientes a los grupos de Illita y Montmorillonita. El modo de ocurrencia de estos minerales arcillosos puede ser por precipitación directa (neoformación), o a través de reacciones entre materiales precursores y la contenida en el agua (regeneración) (Wilson y Pitman, 1977).

Existen diferentes criterios para diferenciar arcillas autigénicas de aquellas generalmente consideradas como detríticas. Estos criterios están basados primeramente en estudios petrográficos y análisis de difracción de rayos x; sin embargo la morfología de las relaciones texturales son mejor observadas con el microscópio electrónico de barrido. Dichos criterios consideran cinco categorías que comprenden composición, morfología, distribución y textura; siendo los tres primeros propiedades intrínsecas de partículas arcillosas, mientras que los dos últimos se refieren a sus relaciones con la roca que los contiene. En el caso de esta investigación se utilizó el microscópio petrográfico tradicional para el estudio de las muestras colectadas; por lo que es necesario tomar en cuenta las limitantes que se tienen para la correcta identificación de dichos cementantes arcillosos. Sin embargo, se lograron observar algunos rasgos tales como la forma en que se

presentan en la roca que generalmente es rodeando los granos de cuarzo en forma de capa, y a la falta de estructuras de flujo características de arcillas detríticas. Dichos rasgos nos permitieron ubicar estos cementos dentro de lo que Wilson y Pitman (1977) consideran como arcillas autígenas.

Este tipo de cementos únicamente se observaron en muestras de la Formación Monillas en el área de Carrizalillo, y se presentan en una etapa diagenética temprana similar a las de las cementaciones C1 y C2.

Compactación.- Se refiere a cualquier proceso que disminuye el volumen de la roca, esto incluye procesos mecánicos que disminuyen el volumen de los granos (deformación del grano), o que causan un fuerte empaquetamiento de granos (reorientación) y presión-solución que disminuye el volumen de los granos (presión-solución grano a grano) y de cementos minerales (Flügel, 1982).

Muchos sedimentos carbonatados sufren relativamente poca compactación o sólo son afectados por compactación en etapas de sepultamiento profundo.

El grado de compactación está fuertemente influenciado por cementos tempranos o dolomitización, los cuales pueden inhibir o disminuir la compactación. En el área de estudio sólo se observó evidencias de compactación en rocas de facies 7 de la Formación Pastor en el área de Cerro de Enmedio.

Presión-Solución (Estilolitas).- El proceso de presión-

solución incluye aquellos fenómenos fisicoquímicos que se efectúan bajo una presión dirigida (Vera y Torres, 1987). Los procesos involucrados son: disolución diferencial, precipitación preferencial y formación de estilolitas (Lam. IVa).

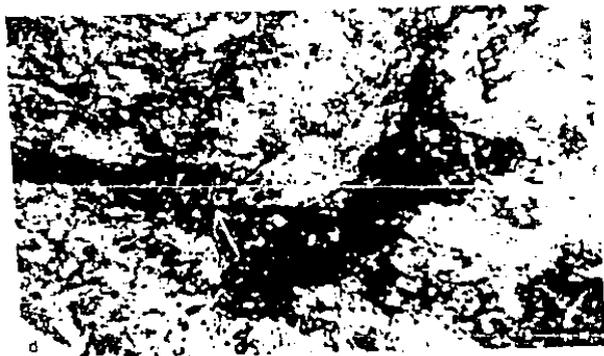
La importancia geológica de este proceso se ve reflejada en considerables disminuciones de espesor en las rocas, por disolución, que en ocasiones llegan a ser hasta del 35%.

Otro factor importante es que la presencia de estilolitas actúan como barreras de permeabilidad que influyen en la distribución de acuíferos y yacimientos petroleros; además constituyen una fuente importante para cementos diagenéticos tardíos por liberación de carbonato de calcio (Vera y Torres, op. cit.).

Aunque este proceso frecuentemente se relaciona sólo al efecto de compactación por peso litostático, es sin embargo muy común encontrarlo asociado a esfuerzos compresivos que reflejan la actividad tectónica de algunas áreas. En el caso de esta investigación la presión-solución-1 se presenta muy poco desarrollada y en ocasiones es difícil identificarla; generalmente se observa antes del primer fracturamiento por lo que se considera su origen debido a los esfuerzos producidos por peso litostático.

## LAMINA IV

- a.- Estilolitas con presencia de aceite residual (expulsión), dentro de sedimentos de facies 8, de la Formación Sóstenes en Cerro de Enmedio.
- b.- Muestra los dos periodos de fracturamiento que se presentan muy constantes en toda la secuencia estratigráfica estudiada. Observe el desplazamiento que sufre el primer fracturamiento provocado por el segundo (microfalla).
- c.- La flecha muestra como la estilolita está cortando al primer periodo de fracturamiento; también se puede observar la disolución que está sufriendo el fusulínido por la misma estilolita (parte inferior derecha de la microfotografía). La estilolita corresponde al segundo periodo de presión-solución.
- d y e.- En estas microfotografías se puede observar la dolomitización asociada a las estilolitas (presión-solución), en la primera se alcanzan a observar algunos rombos de dolomita (ver la punta de la flecha); en la segunda (e) resulta más difícil identificarlos debido a que la dolomita se encuentra oxidada (ver las flechas). La longitud de la barra es de 0.158 mm.



LAMINA IV

Por otro lado, las estilolitas Ps-2, Ps-3 y Ps-4; en general se presentan bien desarrolladas y en ocasiones forman picos muy amplios (Lám. Vc). Comúnmente estas estilolitas se presentan después del primer periodo de fracturamiento; lo que refleja su origen debido principalmente a esfuerzos tectónicos.

Fracturamiento.- El fracturamiento generalmente se presenta, como un reflejo de los esfuerzos tectónicos a los cuales estuvo sujeta la secuencia. Durante el estudio de secciones delgadas, se identificaron 3 periodos de fracturamiento (F1, F2 y F3), los dos primeros en forma general son muy constantes en toda la secuencia (Lám. IVb). Estudiada los dos periodos de fracturamiento se presentan cementados por calcita en casi toda la secuencia y sólo se observa un intervalo cementado por sílice en la parte superior de la Formación Pastor. Esta silicificación se debe probablemente a un reemplazamiento de calcita por sílice debido a la influencia de agua meteórica, en una etapa de levantamiento de estas rocas, que se manifiesta con un periodo de erosión en la cima de esta formación en el área de Placer de Guadalupe. El fracturamiento (F3) solamente se presenta en la Formación Pastor en el área de Carrizalillo, y puede estar asociada al emplazamiento de intrusivos.

Dolomitización.- Los procesos de dolomitización en el Área de estudio son muy variados, los cuales se presentan en diferentes etapas diagenéticas que se describirán en forma cronológica.

Con base en el análisis de las muestras estudiadas en esta secuencia, se identificaron cinco periodos de dolomitización

(D1, D2, D3, D4 y D5), los cuales se enumeraron de acuerdo al orden cronológico en que se presentaron dentro del contexto paragenético de la secuencia estudiada.

La dolomitización D1 generalmente se presenta asociada a sedimentos de facies 8, en menor proporción en facies 6 y muy esporádicamente en facies 7. Este tipo de dolomita se presenta durante las primeras etapas de sepultamiento.

El origen de la formación de esta dolomita, puede ser debido a una zona con presencia de agua dulce y agua marina (tipo Dorag) o bien a condiciones de reflujos. Aunque no se tiene una total seguridad para afirmar cual de los dos procesos fue el que se llevó a cabo, el autor considera que la primera opción es la más congruente; debido a los siguientes criterios.

1.- Si consideramos que el proceso de dolomitización por reflujos, se origina por la alta evaporación del agua marina en lagunas costeras hipersalinas. Esta evaporación causa que las aguas de la laguna adquieran una alta concentración de sulfatos que se precipitan en forma de evaporitas (Morrow, 1982; Longman, 1981; Sears y Lucia, 1980); posteriormente estas salmueras ricas en  $Mg^{2+}$  se infiltran hacia abajo en los sedimentos previamente depositados, en los cuales se establece una circulación por reflujos de las aguas del mar y de la laguna, siendo este el mecanismo por el cual el magnesio necesario para la dolomitización es transportado continuamente a través de los sedimentos, reemplazando los carbonatos por dolomita.

2.- Si analizamos el modelo de mezcla de aguas, consisten en el intercambio de agua marina normal con agua dulce; lo que da como resultado la formación de aguas salobres bajasaturadas con respecto a la calcita y sobresaturadas con respecto a la dolomita (Longman, 1982). El magnesio para la dolomitización es extraído del agua marina y la disolución de carbonatos (Badiozamani, 1973) siendo éste el mecanismo para la dolomitización.

Tomando en cuenta dichos factores, podemos observar que en el modelo de refluo la dolomitización generalmente se manifiesta con presencia de evaporitas. Tales evidencias no se observaron en este trabajo, por lo que resulta difícil asociar dicha dolomitización a este modelo; ahora bien, si consideramos el modelo de mezcla de aguas, éste generalmente se lleva a cabo en áreas muy cercanas a la línea de costa y con presencia de agua dulce o acompañado por exposición subaérea por descenso del nivel del mar, como lo ilustra Sears y Lucia (1980) para los arrecifes de pináculo.

Considerando pues estos factores, en el caso de esta investigación resulta más probable que el proceso de mezcla de aguas sea el responsable de la dolomitización D1; debido a que, como se mencionó anteriormente, este tipo de dolomita se presenta comunmente asociada a sedimentos de facies 8, cercanos a la línea de costa, en menor proporción en facies 6 de bancos calcáreos dentro de la plataforma interna y muy esporádicamente en sedimentos de facies 7. Aunque esto no quiere decir que se tiene una completa seguridad del mecanismo; ya que para ello se

tendrían que practicar otros tipos de trabajos más especializados como análisis de isótopos de oxígeno o análisis geoquímicos de elementos trazas para ver el contenido de estroncio y sodio.

Esta dolomitización se presenta en rocas de la Formación Pastor en el Cerro de Enmedio, y en las Formaciones Sóstenes, Solís y Pastor en el área de Carrizalillo.

La dolomitización D2 se asocia al modelo de compactación de masas arcillosas, propuesto primeramente por Illing, Griffin y Jodry (1959, 1969 y 1965, en: Morrow, 1982); el cual consiste en la compactación de arcillas durante el sepultamiento, lo cual provoca una expulsión del agua intersticial que contiene grandes cantidades de magnesio. Al continuar el sepultamiento estos fluidos cargados en magnesio pueden migrar a través de secuencias carbonatadas suprayacentes, o en forma lateral originando de esta manera el reemplazamiento de calcita por dolomita, donde la fuente de magnesio requerido para la dolomitización es derivado principalmente de las arcillas.

Este tipo de dolomitización se presenta en las Formaciones Pastor de la sección de Placer de Guadalupe y Monillas en el Cerro de Enmedio.

Los periodos de dolomitización (D3 y D4), se presentan en forma muy constante en toda la secuencia estratigráfica estudiada. Estas dolomitizaciones generalmente se observan asociadas a procesos de presión-solución (Lám. IVd y e), como los ilustrados por Wanless (1979) y Mattes y Montjoy (1980); lo

que nos indica que estos periodos de dolomitización se llevaron a cabo casi simultáneamente con etapas compresivas provocadas por esfuerzos tectónicos; en las que existieron procesos de disolución de calcitas magnesianas, debidos a la presión-solución, generando de esta forma liberación de iones de magnesio que dieron origen a la dolomitización (dolomitización por canibalismo de Morrow, 1982).

El periodo de dolomitización (DS), se llevó a cabo en una de las etapas diagenéticas más tardías observadas en esta secuencia. Al iniciar la etapa de levantamiento, la secuencia estuvo influenciada por antiguos niveles freáticos; donde los iones de magnesio para la dolomitización fueron derivados primeramente de aguas intersticiales; siendo el mecanismo para este proceso, la percolación de aguas meteóricas que al mezclarse con las aguas salobres intersticiales provoca la dilución de soluciones salinas (Land y colaboradores, 1975), lo que causa baja precipitación, favoreciendo de esta manera el reemplazamiento de calcita por dolomita (Folk y Land, 1975 en Morrow, 1982).

Presencia de hidrocarburos. - A pesar de que la presencia de hidrocarburos no es por sí mismo un proceso diagenético; en el presente estudio se ha utilizado como tal dentro de la paragénesis, con el fin de establecer su posición dentro de esta historia diagenética.

La presencia de este aceite se observa asociada a tres procesos diagenéticos diferentes, que corresponden a diferentes

etapas diagenéticas dentro del contexto paragenético general, (Fig. 22).

a) Expulsión. - El sepultamiento continuo de los sedimentos, representa un aumento en la presión y temperatura, que también puede ser provocada por movimientos tectónicos.

Para esta etapa de sepultamiento, Vassoevich (1957; en Tissot y Welte, 1982) propone el término "catagénesis", también utilizado por Strakhov (1963; en: Vera y Torres, 1987); en el cual refieren que los cambios mineralógicos son pocos y sólo se reflejan en la fracción de arcilla; mientras que la materia orgánica experimenta cambios mayores en su evolución, donde el kerógeno primeramente produce petróleo líquido, después en una etapa subsecuente se obtiene gas y condensado; ubicando esta etapa a la equivalente compactación de las rocas, donde las temperaturas varían de 50 a 150 oC, y las presiones geoestáticas pueden ser de 300 a 1000 ó 1500 bars.

En este trabajo se relaciona este proceso de expulsión a la etapa en la cual, las rocas entran a la ventana de generación de hidrocarburos; la cual se manifiesta por la presencia de estos, a lo largo de líneas estilolíticas que se observan en diferente posición estratigráfica en las Formaciones Sóstenes y Solís en la sección de Cerro de Enmedio (Lám. IVa y Va) y en menor proporción en la Formación Sóstenes en el área de Carrizalillo.

El primer periodo de migración se presenta en las Formaciones Sóstenes y Solís de la sección de Cerro de Enmedio, y en menor proporción se observa en la Formación Pastor de la sección de

Placer de Guadalupe; mientras que el segundo periodo de migración únicamente se observa en la Formación Monillas en el área de Cerro de Enmedio.

b) Migración.— En el presente trabajo, también se observó la presencia de aceite residual, asociado a la migración de hidrocarburos en dos etapas diagenéticas diferentes. En la primera etapa, se presenta asociado principalmente a porosidad intercrystalina producida por la dolomitización, que en forma general se observa ligada a la presión-solución; mientras que el segundo periodo de migración, se encuentra asociado a una porosidad por fracturas, que dentro del contexto paragenético general corresponde al segundo periodo de fracturamiento.

El primer periodo de migración se presenta en las Formaciones Sústenes y Solís de la sección de Cerro de Enmedio, y en menor proporción se observa en la Formación Pastor de la sección de Placer de Guadalupe; mientras que el segundo periodo de migración únicamente se observa en la Formación Monillas en el área de Cerro de Enmedio.

Hidrotermalismo.— En la sección de Carrizalillo se observó la presencia de minerales que se identificaron como pertenecientes al grupo de los anfíboles y piroxenos (Lám. Vb). En general estos minerales se presentan muy alterados y algunos de ellos se observan calcificados, por lo que se dificulta mucho su identificación;

## LAMINA V

- a.- Presencia de aceite residual en estilolitas (expulsión) y en partes asociado a porosidad intercrystalina originada por la dolomita (etapa de migración). Formación Pastor en Cerro de Enmedio.
- b.- Muestra la presencia de minerales de anfíboles (ver flechas), en la Formación Sóstenes, en la localidad de Cerro Carrizalillo; algunos de ellos se observan calcificados.
- c y d.- En la primera microfotografía (c) se observa un fragmento de alga Komia, sp. la cual muestra los efectos de silicificación (flechas-1), la flecha-2 indica el fragmento de alga. Se encuentra en sedimentos de facies 8 de la Formación Pastor en Cerro de Enmedio. La segunda fotografía (d) corresponde a un fragmento de briozoario (lado derecho) que está siendo reemplazado por sílice (manchas blancas indicadas por las flechas). Los sedimentos corresponden a facies 8 de la Formación Sóstenes en Placer de Guadalupe. La longitud de la barra equivale a 0.158 mm.



LAMINA V

sin embargo se lograron identificar algunos de ellos que podrían corresponder al grupo de la actinolita-tremolita, y otros como diopsida epidota del grupo de los piroxenos.

El origen de estos minerales generalmente se considera debido a procesos de metamorfismo de alto grado, sin embargo, en esta secuencia el grado de metamorfismo que presentan las rocas es muy bajo; por lo que no se pueden relacionar a dichos procesos, sino que mas bien la presencia de estos minerales en la sección de Carrizalillo se consideran tentativamente como producto de procesos hidrotermales asociados a intrusiones igneas en esta área.

Recristalización. - Este proceso involucra cualquier cambio de la textura de un mineral o sedimento monomineral. Se pueden efectuar tres cambios posibles que involucran, (1) volumen del cristal, (2) forma del cristal y (3) orientación de la estructura del cristal (Vera y Torres, 1987).

El proceso de recristalización, generalmente se ha considerado como un proceso diagenético tardío, que se lleva a cabo en el subsuelo, y puede desarrollarse con presencia de agua (recristalización húmeda), o en seco (recristalización primaria, transformación seca). El primero de estos procesos sólo se presenta en los estados tardíos del neomorfismo agradante donde los cristales de calcita crecen a expensas de otros cristales de calcita (Bathurst, 1971; en: Vera y Torres, 1987).

La recristalización en seco (primaria), generalmente no se reporta en diagenésis de carbonatos, siendo restringida a un ambiente metamórfico.

En el caso de la secuencia estratigráfica estudiada, parece ser que actuaron los dos procesos de recristalización (vía húmeda y vía seca), aunque probablemente predomine la recristalización húmeda en la mayoría de las muestras estudiadas. Sin embargo, en algunas de ellas, los límites cristalinos no se presentan bien definidos; que si bien, no muestran una textura metamórfica bien desarrollada, si presentan ciertos rasgos que podrían indicar una etapa muy próxima al metamorfismo, o bien presentan un metamorfismo de bajo grado como se observa en el área de Carrizalillo.

Calcificación.- Este proceso se lleva cabo por soluciones con una relación alta de  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ , que reacciona con la dolomita para formar carbonato de calcio. (Vera y Torres, 1987). Este proceso es comunmente conocido como (dedolomitización), el cual además de este reemplazamiento de dolomita por calcita provoca una fuerte reducción de la porosidad, y es común observarlo en esta secuencia estratigráfica.

Silicificación.- Este proceso es muy común en la diagenésis de carbonatos, pudiendo ser favorecido por un bajo pH y saturación de sílice en el agua intersticial, obstruyendo la porosidad por la precipitación de cementos de calcedonia.

Aunque el origen del sílice involucra diversas teorías, en este trabajo no se discutirán, sino que solamente se hará

referencia de la forma en que se observó en el estudio de las secciones delgadas y observaciones de campo.

En la mayoría de las láminas delgadas que se estudiaron, el silice se presenta reemplazando fragmentos de organismos (Lám. Vc y d), en menor proporción se presentan como cristales de cuarzo autígeno por precipitación directa y muy esporádicamente relleno de fracturas por reemplazamiento de calcita espática. En observaciones de campo, generalmente se presenta como nódulos y bandas de pedernal, siendo muy abundantes en algunas unidades (Formación Solís en Cerro de Enmedio).

Oxidación.- Se denominó como oxidación-1 a un proceso, el cual realmente no forma parte de un primer período de oxidación propiamente dicho, sino que más bien, es un proceso que afecta, en forma selectiva a un período de dolomitización que se encuentra asociado a la presión-solución (lámina IVe), en el que la dolomita probablemente sufrió una alteración por sulfuro de hierro, que posteriormente al ser expuesta la roca en condiciones oxidantes en la superficie, propiciaron la oxidación de la dolomita.

Los procesos de oxidación, generalmente se manifiestan en la etapa de exposición subaérea de las rocas, en donde comúnmente las aguas meteóricas son ricas en contenido de hierro.

La oxidación-2, es muy común en toda la secuencia y se presenta en la última etapa diagenética.

## B.- RELACIONES DIAGENÉTICAS

En el área de estudio se identificaron 31 eventos diagenéticos constituidos por 13 procesos diagenéticos (Fig. 24) los cuales se mencionarán primero los que se presentan en forma regional dentro del contexto paragenético general en las tres localidades estudiadas; posteriormente los que son comunes en el área, después los que son locales, por último los que son exclusivos para cada localidad. Así mismo se hará una comparación paragenética general en las formaciones estudiadas, posteriormente se analizarán los procesos diagenéticos por formaciones y se compararán en cada una de las localidades. Por último, se hará una comparación paragenética general entre cada una de las facies sedimentarias identificadas en este trabajo.

### a).- PARAGENESIS GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

En el área de estudio se identificaron 32 eventos diagenéticos, de los cuales 13 se presentan en forma regional, 5 son comunes y 12 son exclusivos. A continuación se citarán cada uno de ellos de acuerdo al orden arriba mencionado.

Eventos Diagenéticos Regionales. - Los eventos diagenéticos regionales son aquellos que se presentan en las tres localidades y en las cuatro formaciones y en su caso en todas las facies sedimentarias identificadas; siendo estos eventos: la micritización de partículas carbonatadas, dos periodos de cementación (C1 y C2), dos periodos de fracturamiento (F1 y F2), tres periodos de presión-solución (Ps1, Ps2 y Ps3), dos periodos de dolomitización (D3 y D5), la recristalización, la

silicificación y la oxidación (Ox2). (Fig. 24).

Eventos Diagenéticos Comunes.- Los eventos diagenéticos que se consideran comunes, son aquellos que se presentan sólo en dos localidades y pueden estar presentes en dos o tres formaciones o bien en dos o tres facies. A continuación se mencionarán tales eventos y se citarán las localidades que los presentan.

La disolución-1, se presenta en Placer de Guadalupe y Carrizalillo. La dolomitización-1 y la expulsión de hidrocarburos, se presentan en Cerro de Enmedio y Carrizalillo. En Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio se presentan dos periodos de dolomitización (D2 y D4); así como la migración-1 (Fig. 24).

Eventos Diagenéticos Exclusivos.- Se presenta sólo en una localidad, una formación o una facies. En Placer de Guadalupe se presenta un periodo de disolución (Dis.-2), un periodo de cementación (C5) y la oxidación-1. En Cerro de Enmedio se presentan bioturbación, perforaciones por organismos, la compactación y la migración-2. En Carrizalillo se observan dos periodos de cementación (C-3 y 4), un periodo de fracturamiento (F-3), el hidrotermalismo y la presión-solución-4, (Fig. 24).

#### **b.- PARAGENESIS GENERAL DE LAS FORMACIONES ESTUDIADAS**

La figura 25 muestra los eventos diagenéticos que afectaron a las rocas de las formaciones estudiadas las cuales se citarán en la misma forma que se hizo en el inciso anterior.

C.	C.	C.	
CA	DE	PLA	LEYENDA
RR	EN	CER	
ZA	ME	DE	
LI	DIO		
LLD		GUA	
		DA	
		LU	
		PE	
	*		
	+		
XXX	XXX	XXX	XXX Eventos Regionales
0		0	0 Eventos Comunes
+			+ Eventos Locales
*			* Eventos Exclusivos
	*		BIOTURBACION
	+		PERFORACIONES POR ORGANISMOS
XXX	XXX	XXX	MICRITIZACION
0		0	DISOLUCION 1
XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 1
XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 2
*			CEMENTACION 3
*			CEMENTACION 4
	*		COMPACTACION
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 1
0	0	0	DOLOMITIZACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
	0	0	DOLOMITIZACION 2
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 2
0	0		EXPULSION DE HIDROCARBUROS
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 3
	0	0	MIGRACION 1
		*	DISOLUCION 2
		*	CEMENTACION 5
		*	OXIDACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
	*		MIGRACION 2
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 3
	0	0	DOLOMITIZACION 4
*			FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
*			HIDROTHERMALISMO
XXX	XXX	XXX	RECRISTALIZACION (calcificacion)
*			PRESION-SOLUCION 4
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 5
XXX	XXX	XXX	SILICIFICACION
XXX	XXX	XXX	OXIDACION 2

Figura 24.- Paragénesis general del área de estudio.

Eventos Diagenéticos Regionales.- Se presentan doce eventos que son: micritización de partículas carbonatadas; dos periodos de cementación (C1 y C2), dos periodos de presión-solución (Ps-1 y Ps-2), dos periodos de fracturamientos (F-1 y F-2), dos periodos de dolomitización (D-3 y D-5), la recristalización, la silicificación y la oxidación (Fig. 25).

Eventos Diagenéticos Comunes.- La disolución-1, es común en las Formaciones Solís y Pastor. La dolomitización-1, se presenta en las Formaciones Sóstenes, Solís y Pastor; mientras que la dolomitización-2 se presenta sólo en las Formaciones Monillas y Pastor. La expulsión de hidrocarburos se presenta en las Formaciones Sóstenes y Solís; mientras que la migración-1 se observó en las Formaciones Sóstenes, Solís y Pastor. La presión-solución-3 se observó en las Formaciones Sóstenes, Monillas y Pastor; mientras que la dolomitización-4 es común en las 4 formaciones. (Fig. 25).

Eventos Diagenéticos Locales.- Son aquellos que se presentan en una sola localidad y más de una formación o facies; únicamente se observaron 3 procesos diagenéticos que se presentan en forma local, los cuales se describen a continuación.

El hidrotermalismo localmente se presenta en las 4 formaciones; mientras que la presión-solución-4, es local en las Formaciones Solís y Pastor, (Fig. 25).

Procesos Diagenéticos Exclusivos.- La oxidación-1 se presenta únicamente en la Formación Sóstenes. La Formación Monillas

Fm.	Fm.	Fm.	Fm.	
P	M	S	S	LEYENDA
A	O	O	O	
S	N	L	S	
T	I	I	T	
R	L	S	E	XXX Eventos Regionales
	A		S	O Eventos Comunes
	S		S	+ Eventos Locales
				* Eventos Exclusivos
*				BIOTURBACION
*				PERFORACIONES POR ORGANISMOS
XXX	XXX	XXX	XXX	MICRITIZACION
O		O		DISOLUCION 1
XXX	XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 1
XXX	XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 2
	*			CEMENTACION 3
	*			CEMENTACION 3
*				COMPACTACION
XXX	XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 1
O		O	O	DOLOMITIZACION 1
XXX	XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
O	O			DOLOMITIZACION 2
XXX	XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 2
		O	O	EXPULSION DE HIDROCARBUROS
XXX	XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 3
O		O	O	MIGRACION 1
*				DISOLUCION 2
*				CEMENTACION 5
			*	OXIDACION 1
XXX	XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
	*			MIGRACION 2
O	O		O	PRESION-SOLUCION 3
O	O	O	O	DOLOMITIZACION 4
*				FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
+		+	+	HIDROTHERMALISMO
XXX	XXX	XXX	XXX	RECRISTALIZACION (CALCIFICACION)
+		+		PRESION-SOLUCION 4
XXX	XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 5
XXX	XXX	XXX	XXX	SILICIFICACION
XXX	XXX	XXX	XXX	OXIDACION 2

Figura 25.- Paragenesis general de las formaciones estudiadas.

presenta dos periodos de cementación (C-3 y C-4), y la migración-2; mientras que la Formación Pastor, presenta bioturbación, perforaciones por organismos, compactación, disolución-2, cementación-5 y el fracturamiento-3 (Fig. 25).

#### c.- EVENTOS DIAGENETICOS DE LAS FORMACIONES POR LOCALIDAD.

1.- FORMACION SOSTENES.- Presenta 19 eventos diagenéticos, (10) son regionales, (2) son comunes, (6) son locales y (1) es exclusivo, (Fig. 26).

Eventos Diagenéticos Regionales.- Los procesos que se presentan como regionales son: micritización, cementación-2, 2 periodos de fracturamiento (F1 y F2), presión-solución-2, 2 periodos de dolomitización (D3 y D5), recristalización, silicificación y oxidación-2.

Eventos Diagenéticos Comunes.- La presión-solución-1 es común en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio; mientras que la expulsión de hidrocarburos es común en Cerro de Enmedio y Carrizalillo.

Eventos Diagenéticos Locales.- En Placer de Guadalupe se presentan como eventos locales, la cementación-1 y la dolomitización-4. En Cerro de Enmedio únicamente se observa la migración-1 como proceso local; mientras que en Carrizalillo se presentan localmente, la dolomitización-1, presión-solución-3 e hidrotermalismo.

Eventos Diagenéticos Exclusivos.- La oxidación-1, es exclusiva de esta formación en la localidad de Placer de Guadalupe.

C.	C.	C.	
CA	DE	PLA	LEYENDA
RRI	EN	CER	
ZA	ME	DE	
LI	DIO	GUA	
LLO		DA	
		LU	
		PE	
			BIOTURBACION
			PERFORACIONES POR ORGANISMOS
xxx	xxx	xxx	MICRITIZACION
			DISOLUCION 1
		+	CEMENTACION 1
xxx	xxx	xxx	CEMENTACION 2
			CEMENTACION 3
			CEMENTACION 4
			COMPACTACION
	o	o	PRESION-SOLUCION 1
+			DOLOMITIZACION 1
xxx	xxx	xxx	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
			DOLOMITIZACION 2
xxx	xxx	xxx	PRESION-SOLUCION 2
o	o		EXPULSION DE HIDROCARBUROS
xxx	xxx	xxx	DOLOMITIZACION 3
	+		MIGRACION 1
			DISOLUCION 2
			CEMENTACION 5
		*	OXIDACION 1
xxx	xxx	xxx	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
			MIGRACION 2
+			PRESION-SOLUCION 3
		+	DOLOMITIZACION 4
			FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
+			HIDROTHERMALISMO
xxx	xxx	xxx	RECRISTALIZACION (calcificacion)
			PRESION-SOLUCION 4
xxx	xxx	xxx	DOLOMITIZACION 5
xxx	xxx	xxx	SILICIFICACION
xxx	xxx	xxx	OXIDACION 2

Figura 26.- Comparación de los diferentes eventos diagenéticos de la Formación Sostenes en las tres localidades estudiadas.

2.- FORMACION SOLIS.- Se identificaron 19 eventos diagenéticos que se muestran en la figura 27; siendo 10 de ellos los que se mantienen en forma regional, 3 son comunes, 6 se presentan en forma local y no se observan eventos diagenéticos que sean exclusivos para esta formación.

Eventos Diagenéticos Regionales.- Los eventos diagenéticos que se presentan en forma regional en esta formación, son los mismos que se presentan en la Formación Sóstenes, por lo que el no se considera necesarios volverlos a citar (Fig. 27).

Eventos Diagenéticos Comunes.- Sólo se presentan dos eventos diagenéticos que son comunes en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio, que son la presión-solución-1 y la dolomitización-4. En Placer de Guadalupe y Carrizalillo sólo se presenta la disolución-1.

Eventos Diagenéticos Locales.- En Placer de Guadalupe es local la cementación-1. En Cerro de Enmedio es local la expulsión de hidrocarburos y la migración-1; mientras que en Carrizalillo se presentan; la dolomitización-1, el hidrotermalismo y la presión-solución-4.

3.- FORMACION MONILLAS.- Presenta 20 eventos diagenéticos; dos de ellos son regionales, 7 son comunes, 8 locales y 3 son exclusivos. (Fig. 28).

Eventos Diagenéticos Regionales.- Los eventos regionales que se presentan en esta formación son la recristalización y la silicificación.

C.	C.	C.	
CA	DE	FLA	LEYENDA
RRI	EN	CER	
ZA	ME	DE	
LI	DIO	GUA	
LLO		DA	
		LU	
		PE	
			BIOTURBACION
			PERFORACIONES POR ORGANISMOS
XXX	XXX	XXX	MICRITIZACION
0		0	DISOLUCION 1
		+	CEMENTACION 1
XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 2
			CEMENTACION 3
			CEMENTACION 4
			COMPACTACION
	0	0	PRESION-SOLUCION 1
+			DOLOMITIZACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
			DOLOMITIZACION 2
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 2
	+		EXPULSION DE HIDROCARBUROS
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 3
	+		MIGRACION 1
			DISOLUCION 2
			CEMENTACION 5
			OXIDACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
			MIGRACION 2
			PRESION-SOLUCION 3
	0	0	DOLOMITIZACION 4
			FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
+			HIDROTHERMALISMO
XXX	XXX	XXX	RECISTALIZACION (calcificacion)
+			PRESION-SOLUCION 4
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 5
XXX	XXX	XXX	SILICIFICACION
XXX	XXX	XXX	OXIDACION 2

Figura 27.- Comparación de los diferentes eventos diagenéticos de la Formación Solís en las tres localidades estudiadas.

Eventos Diagenéticos Comunes.- En Placer de Guadalupe y Carrizalillo, son comunes la cementación-2, la presión-solución-2 y la oxidación-2, mientras que los fracturamientos (F1 y F2) y las dolomitizaciones (D4 y D5), son comunes en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio.

Eventos Diagenéticos Locales.- La micritización, cementación-1, dolomitización-3 y presión-solución-3, son locales en Placer de Guadalupe. En Cerro de Enmedio sólo se presenta como local la dolomitización-2; mientras que la presión-solución-1, expulsión de hidrocarburos y el hidrotermalismo son locales en Carrizalillo.

Eventos Diagenéticos Exclusivos.- En Cerro de Enmedio la migración-2 es exclusiva de esta localidad; mientras que en Carrizalillo, las cementaciones (C3 y C4), son exclusivas en esta formación. En Placer de Guadalupe no se observaron procesos exclusivos de la Formación Monillas.

4.- FORMACION PASTOR.- En esta formación se identificaron 26 eventos diagenéticos (Fig. 29); de los cuales 10 son regionales, 6 son comunes 4 son locales y 6 son exclusivos. Los eventos diagenéticos que se presentan como regionales en esta formación, son equivalentes a los que se presentan en las Formaciones Sóstenes y Solís.

Eventos Diagenéticos Comunes.- En Placer de Guadalupe y Carrizalillo se presenta sólo la disolución-1; mientras que la presión-solución-1 y migración-1 se presentan, en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio. La cementación-1 y la

C.	C.	C.	
CA	DE	PLA	LEYENDA
RRI	EN	CER	
ZA	ME	DE	
LI	DIO	GUA	
LLO		DA	
		LU	
		PE	
			xxx Eventos Regionales
			o Eventos Comunes
			+ Eventos Locales
			* Eventos Exclusivos
			BIOTURBACION
			PERFORACIONES POR ORGANISMOS
		+	MICRITIZACION
			DISOLUCION 1
		+	CEMENTACION 1
o		o	CEMENTACION 2
+			CEMENTACION 3
+			CEMENTACION 4
			COMPACTACION
+			PRESION-SOLUCION 1
			DOLOMITIZACION 1
	o	o	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
	+		DOLOMITIZACION 2
o		o	PRESION-SOLUCION 2
+			EXPULSION DE HIDROCARBUROS
		+	DOLOMITIZACION 3
			MIGRACION 1
			DISOLUCION 2
			CEMENTACION 5
			OXIDACION 1
	o	o	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
	*		MIGRACION 2
		+	PRESION-SOLUCION 3
	o	o	DOLOMITIZACION 4
			FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
+			HIDROTHERMALISMO
xxx	xxx	xxx	RECRISTALIZACION (calcificacion)
			PRESION-SOLUCION 4
	o	o	DOLOMITIZACION 5
xxx	xxx	xxx	SILICIFICACION
o		o	OXIDACION 2

Figura 28.- Comparación de los diferentes eventos diagenéticos de la Formación Monillas en las tres localidades estudiadas.

dolomitización-1 sólo se presentan en Cerro de Enmedio y Carrizalillo, y la presión-solución-3 es común en las tres localidades dentro de esta formación.

Eventos Diagenéticos Locales.- Localmente la dolomitización-2 sólo se presenta en Placer de Guadalupe; mientras que en Cerro de Enmedio es local la dolomitización-4. El hidrotermalismo y la presión-solución-4, son locales en Carrizalillo.

Eventos Diagenéticos Exclusivos.- La Formación Pastor presenta 6 eventos diagenéticos que algunos de ellos son exclusivos en cada localidad. La disolución-2 y cementación-5, y son exclusivos de Placer de Guadalupe. En Cerro de Enmedio, la bioturbación, perforaciones por organismos y compactación son exclusivos; mientras que en Carrizalillo, sólo se presenta el fracturamiento-3 como exclusivo de esta localidad dentro de la Formación Pastor.

#### d.- PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS EN EL AREA DE ESTUDIO.

En el área de estudio se identificaron tres facies sedimentarias (facies 6, 7 y 8), las cuales se presentan en las cuatro formaciones que comprende este trabajo.

El objeto de hacer este análisis es con el fin de poder correlacionar los eventos diagenéticos que se presentan en forma regional, cuales son comunes en determinadas facies, cuales eventos sólo se presentan en forma local y por último cuales de ellos son exclusivos para cada facies. Esto nos ayudará a tener

C.	C.	C.	
CA	DE	PLA	LEYENDA
RRI		CER	
ZA	EN	DE	
LI	ME	DE	
LLO	DIO	GUA	
		DA	
		LU	
		PE	
	*		BIOTURBACION
	*		PERFORACIONES POR ORGANISMOS
XXX	XXX	XXX	MICRITIZACION
0	0	0	DISOLUCION 1
0	0		CEMENTACION 1
XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 2
			CEMENTACION 3
			CEMENTACION 4
	*		COMPACTACION
	0	0	PRESION-SOLUCION 1
0	0		DOLOMITIZACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
		+	DOLOMITIZACION 2
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 2
0			EXPULSION DE HIDROCARBUROS
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 3
	0	0	MIGRACION 1
		+	DISOLUCION 2
		+	CEMENTACION 5
			OXIDACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
			MIGRACION 2
0	0	0	PRESION-SOLUCION 3
	+		DOLOMITIZACION 4
+			FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
+			HIDROTHERMALISMO
XXX	XXX	XXX	RECRISTALIZACION (calcificacion)
+			PRESION-SOLUCION 4
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 5
XXX	XXX	XXX	SILICIFICACION
XXX	XXX	XXX	OXIDACION 2

Figura 29.- Comparación de los diferentes eventos diagenéticos de la Formación Pastor en las tres localidades estudiadas.

un mejor conocimiento, de los procesos diagenéticos que afectan a las diferentes facies sedimentarias, iniciando desde el momento de depósito hasta su evolución final. La figura 30 muestra los diferentes eventos diagenéticos que actuaron en las facies sedimentarias identificadas, los cuales se mencionarán en la misma forma que se citaron en los incisos anteriores.

Eventos Diagenéticos Regionales.- Los eventos diagenéticos que son regionales para todas las facies son micritización de partículas carbonatadas; cementación-2, dos periodos de presión-solución (Ps-1 y Ps-2), dos periodos de fracturamiento (F1 y F2); dos periodos de dolomitización (D3 y D5); la recristalización, la silicificación y la oxidación-2.

Eventos Diagenéticos Comunes.- En las facies 6 y 8, son comunes la disolución-1, cementación-1 y expulsión de hidrocarburos. En la facies 7 y 8, solamente es común la dolomitización-2; mientras que las dolomitizaciones D1 y D4, la migración-1 y la presión-solución-3, son comunes en las tres facies.

Eventos Diagenéticos Locales.- Localmente en la facies 6 y 8, se presentan perforaciones por organismos y la oxidación-1. La disolución-2 y cementación-5 son locales en las facies 6 y 7; mientras que el hidrotermalismo y la presión-solución-4; son locales en las tres facies.

Procesos Diagenéticos Exclusivos.- La bioturbación, sólo se presenta como exclusiva de la facies 8; mientras que la compactación, es exclusiva de la facies 7.

FACIES 6	FACIES 7	FACIES 8	LEYENDA
		*	BIOTURBACION
+		+	PERFORACIONES POR ORGANISMOS
XXX	XXX	XXX	MICRITIZACION
0		0	DISOLUCION 1
0		0	CEMENTACION 1
XXX	XXX	XXX	CEMENTACION 2
			CEMENTACION 3
			CEMENTACION 4
	<		COMPACTACION
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 1
0	0	0	DOLOMITIZACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 1
	0	0	DOLOMITIZACION 2
XXX	XXX	XXX	PRESION-SOLUCION 2
0		0	EXPULSION DE HIDROCARBUROS
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 3
0	0	0	MIGRACION 1
+	+		DISOLUCION 2
+	+		CEMENTACION 5
+		+	OXIDACION 1
XXX	XXX	XXX	FRACTURAMIENTO Y RELLENO 2
			MIGRACION 2
0	0	0	PRESION-SOLUCION 3
0	0	0	DOLOMITIZACION 4
			FRACTURAMIENTO Y RELLENO 3
+	+	+	HIDROTERMALISMO
XXX	XXX	XXX	RECRISTALIZACION (calcificacion)
+	+	+	PRESION-SOLUCION 4
XXX	XXX	XXX	DOLOMITIZACION 5
XXX	XXX	XXX	SILICIFICACION
XXX	XXX	XXX	OXIDACION 2

Figura 30.- Paragenesis general de las facies identificadas en el area de estudio.

## VIII.- ASPECTOS ECONOMICOS

En el área de estudio se han realizado trabajos de muestreo geoquímico con el fin de evaluar el potencial generador de las rocas de la cuenca de Chihuahua. Los primeros trabajos de muestreo de pozos se iniciaron en 1972, posteriormente en 1980 las compañías GYMSA y SERTESA, realizan prospectos de muestreo geoquímico de afloramientos (Limon, 1989); y a partir de 1983 PEMEX, continúa con los prospectos de muestreo geoquímico de afloramiento.

De los estudios geoquímicos realizados en rocas del paleozoico, se tienen datos de los pozos, Chinos-1, Menonita-1 y Apache-1, así como de afloramientos en el área de Placer de Guadalupe. Recientemente se realizaron trabajos de muestreo geoquímico en el área de Cerro de Enmedio y Carrizalillo, de los cuales no se cuenta con los resultados.

En el área de Placer de Guadalupe el contenido de carbono orgánico que se reporta en la secuencia del Ordovícico es de 0.07%, y el tipo de materia orgánica es amorfa. En el pozo Chinos-1, el contenido de C.O. en las facies de lutitas del Devónico es de 3.60 %, y disminuye a 0.45 y 0.34% en las facies de dolomías, con materia orgánica amorfa, (Limon, 1989). Para el Missisípico se reporta un contenido de carbono orgánico (C.O.) de 1.09% en facies de lutitas negras, y la materia orgánica es leñosa-carbonosa. Para el Pensilvanico, en el pozo Chinos-1 se tienen valores de 0.09% a 1.44% de C.O. en facies de lutitas con materia orgánicas herbácea. En Placer de Guadalupe se reporta

0.07% de C.O. en facies de calizas masivas (Formación Pastor), con materia orgánica amorfa. Para el Pérmico Temprano, en el pozo Chinos-1, se reporta 0.44% de C.O. en facies de calizas con materia orgánica amorfa; mientras que en Placer de Guadalupe las facies terrígenas del Pérmico presentan porcentajes de C.O. de 0.06 a 0.08%, y en el pozo Apache-1, se reporta 0.11 a 0.08% de carbono orgánico, y se incrementa hasta 3.69% en el pozo Menonita-1, (Limón, 1989).

Aunque no se tienen datos suficientes que permitan evaluar en forma más precisa el potencial generador de las rocas paleozoicas, se puede observar que los datos de contenido de carbono orgánico en estas rocas en general es muy bajo, lo que hace muy difícil poderlas considerar como potencialmente generadoras; aunado a esto, se puede observar que la historia de sepultamiento que presentan dichas rocas (Fig. 23), restringe fuertemente las posibilidades de encontrar hidrocarburos en las mismas, ya que estas salieron de la ventana de generación hace aproximadamente 110 millones de años (Cretácico Temprano).

Considerando estos factores, se puede concluir que la prospección con fines petroleros en estas rocas, queda limitada por tales antecedentes.

## IX.- CONCLUSIONES

### A.- SEDIMENTOLOGICAS

1.- Los sedimentos calcáreo-arenosos de la Formación Sóstenes, se interpretan como depósitos de plataforma interna con influencia terrígena, representados como facies 8, que marcan la continuación de una transgresión marina.

2.- Los sedimentos de la Formación Solís, inician su depósito en un ambiente de plataforma interna de facies 8 y cambian verticalmente en forma gradual a depósitos lagunares de facies 7 con esporádicas intercalaciones de facies 6 que se hacen más frecuentes hacia la cima; reflejando ambientes de alta energía de plataforma externa, manifestando el avance de la transgresión en esta área.

3.- La secuencia estratigráfica de la Formación Monillas en Placer de Guadalupe, refleja condiciones de plataforma externa, presentada por sedimentos de facies 6, que podrían constituir pequeños desarrollos de bancos de arenas calcáreas formando el borde de dicha plataforma; mientras que en Cerro de Enmedio y Carrizalillo el ambiente de depósito no está bien definido. Considerándose también, que probablemente durante este tiempo inicia su desarrollo como tal, la Cuenca de Pedregosa al oeste del área de estudio.

4.- El depósito de la Formación Pastor, se interpreta como de plataforma interna (lagunar), representado por facies 7, que gradúan hacia la cima a sedimentos de plataforma interna con

Influencia terrígena (Facies 8).

## B.- DIAGENÉTICAS

5.- La micritización de partículas calcáreas es común en toda la secuencia.

6.- Se identificaron cinco periodos de cementación, presentándose tres de ellos como cementación temprana (C1, Cemento de palizada y crecimiento sintaxial), y los otros dos (C3 y C4) como cementos arcillosos. La cementación C2 y C5 corresponde a cementos de mosaico, siendo la cementación C5 una cementación asociada a zonas de disolución.

7.- Se identificaron cuatro periodos de presión-solución (PS1, PS2, PS3 y PS4) siendo el primero (PS1) por compactación litostática y los tres restantes, (PS2, PS3 y PS4) provocados por esfuerzos tectónicos. El fracturamiento es común en toda la secuencia, manifestándose dos periodos (F1 y F2), en Placer de Guadalupe y Cerro de Enmedio; mientras que en Carrizalillo se observó un tercer periodo de fracturamiento en la Formación Pastor, probablemente producido por la acción de intrusivos.

8.- Los procesos de dolomitización en la secuencia son muy variados, identificándose 5 periodos (D1, D2, D3, D4 y D5). El primero se asocia al modelo de mezcla de aguas (tipo dorag); mientras que el segundo (D2) se asocia al modelo de compactación de sedimentos arcillosos. Los dos siguientes (D3 y D4), se refieren al modelo de "dolomitización por canibalismo", asociado a la presión-solución, y el último (D5) al modelo de antiguos

niveles freáticos.

9.- La recristalización, silicificación y oxidación, son los procesos que se presentan más consistentes en toda la secuencia estratigráfica. Localmente se observó la presencia de minerales del grupo de los piroxenos y los anfíboles en Carrizalillo; que en este trabajo se consideraron como probable producto de hidrotermalismo.

#### C.- ECONÓMICAS

Desde el punto de vista económico-petrolero, la secuencia paleozoica presenta condiciones muy desfavorables para encontrar hidrocarburos. Aunque se observó la presencia de aceite residual en las formaciones estudiadas en este trabajo, como expulsión en estilolitas y asociado a porosidades secundarias por dolomitización y fracturas; sin embargo, la historia de sepultamiento que presenta esta secuencia, muestra que las condiciones de generación de hidrocarburos en estas rocas se llevaron a cabo a principios del Pérmico Temprano y salieron de estas durante el Cretácico Temprano.

#### D.- OTRAS

Se considera necesario desarrollar trabajos bioestratigráficos en las localidades de Cerro de Enmedio y Carrizalillo, que permitan determinar la edad y ambiente de depósito de la Formación Monillas en estas localidades.

## BIBLIOGRAFIA

- BADIOZAMANI, K., 1973, The dorag dolomitization model-application to the middle ordovician of Wisconsin; Jour. Sed. Petrology, Vol. 43, No. 4, pp. 965-984.
- BATHURST, R.G.C., 1971 Carbonate sediments and their diagenesis; Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Oxford-New York, 658 p.
- BURROWS, R.H., 1910 Geology of Northern Mexico; Bol. de la Soc. Geol. Mexicana, Tomo VII, pp. 85-103.
- BRIDGES, W.L., 1965, Geología del Area de Plomosas en Estudios Geológicos en el Estado de Chihuahua, parte I; Traducido por Diego A. Córdoba, Instituto de Geología, UNAM, Boletín No. 74., 134 p.
- BRIDGES, W.L., 1970, Paleozoic history of the southern Chihuahua tectonic belt; West Texas Geol. Soc. Symposium of the geologic framework on the Chihuahua tectonic belt., pp. 67-74.
- CHOQUETTE, P.W. Y PRAY, C.L., 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates; AAPG Bull., V-52, No. 4, pp. 207-250.
- DAVIS, R.G., 1979, Dolomite reservoir rocks: Processes Controls, Porosity Development; in: Geology of Carbonate Porosity, Continuing Education Course Note Series # 11, AAPG-SEPH, PCI-17.
- DUNHAM, J.R., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture; Amer. Assoc. Petrol. Geologist, Mem. 1, pp. 108-121.
- DYER, R. Y REYES, I. (en prensa) The geology of Cerro el Carrizalillo Chihuahua, México.
- EVAMY, B.D., 1967, The dolomitization and the development of rhombohedral pores in limestone; in: Friedman Syeda: Diagenesis of Carbonate Rocks, Cement-Porosity Relationships, SEPH Reprint Series No. 10, 1981 pp. 89-100.
- EGUIZABAL, H.F.; HENTZ, K. P. Y CHAPA, C.C., 1986, Estudio estratigráfico sedimentológico en rocas del Paleozoico, Edo. de Chihuahua, Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto C-3016.
- FOLK, R.L., 1965, Some aspects of recrystalization in ancient limestone; in: Pray and Murray, Dolomitization and No. 13 Limestone Diagenesis. A Symposium, SEPH Spc. Pub., pp. 14-48, Microfacies Analysis of Limestone, Springer-Verlag Heidelberg Pub. New York.

- FOLK, R.L., 1974, The natural history of cristaline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity, Jour. Sed. Petrology, Reprint Vol. 44, No. 1, pp. 40-53.
- FOLK, R.L., 1974, Petrology of sedimentary rocks; Hemphill Publishing Company, Austin, Texas. p. 182.
- FOLK, R.L. Y LAND L., 1975, Mg/Ca Ratio and Salinity: two controls over crystallization of dolomite; AAPG Bull, Vol. 59, No. 1, pp. 60-68.
- FLUGEL, E., 1982, Microfacies analysis of limestone: Springer-Verlag Heidelberg Pub., New York, 633 p.
- FRIEDMAN, G.M. Y SANDERS, J.E., 1984, Principles of Sedimentology; John Wiley & Sons 792. pp.
- GARCIA, E.J., 1985, Estudio geológico de detalle estratigráfico-estructural. Prospecto "El Granero-Chapo, Chih." PEMEX NE-2072 (Inédito).
- GUVEN, N, HOUWER, W.F. Y DAVIES, D.K., 1980, Nature of authigenetic illites in sandstone reservoirs; Jour. Sed. Petrology, Vol. 50, No. 3, pp. 761-766.
- HANDSCHY, J.W. Y DYER, R., 1987, Polyphase deformation in Sierra del Cuervo, Chihuahua, Mexico: Evidence of ancestral Rocky Mountain tectonics in the Ouachita foreland of northern Mexico; Geol. Soc. of Am. Bull, V 99, pp. 618-632.
- HASS, W., 1969, Lower devonian trilobites from central Nevada and Northern Mexico; Jour. of Paleontology, V.43, No. 3, pp. 641-659.
- HERNANDEZ, R.J., 1975, Estudio geológico del prospecto El Pastor, Chih. PEMEX, NE-M1391 (Inédito).
- JAMES, N.P., 1983, Diagenesis 5. Limestones: Introduction; Geoscience Canada., Vol. 10, No. 4 p. 159-161.
- KELLER, R.G. Y DYER, R., (en prensa) The paleozoic Margin of North America in West Texas and Northern Mexico; Geofísica Internacional.
- KING, R.E. Y ADKINS, W.S., 1946, Geology of a part of the lower Conchos Valley, Chihuahua, Mexico; Geol. Soc. of Am. Bull. V. 57, p. 275-294.
- KOTTLOWSKI, E.F., 1970, Paleozoic geologic history of Southwest New Mexico and Northern Chihuahua tectonic belt. West Texas Geol. Soc. Symposium on the geologic framework on the Chihuahua tectonic belt, p. 25-37.

- LAND, L.S.; SALEM, M.R., Y MORROW, D.W., 1975, Paleohydrology on ancient dolomites: Geochemical evidence; AAPG. Bull., V.59, No. 9, pp. 1602-1625.
- LIMON, G.M., 1989, Evaluación geológico-geoquímica de la provincia de Chihuahua; Tesis de maestría, DEFI-UNAM, (Inédita), 87P.
- LONGMAN, W.M., 1981, Carbonate diagenesis as a control on stratigraphic traps. AAPG. Fall Education Conference in Calgary, Canada. Chapter 4, 5, and 6, pp. 92-140.
- LOGAN, W.B., REZAK, R. Y GINSBURG, N.R., 1964, Classification and environmental significance of algal stromatolites; Jour. of Paleont., V.72, No. 1, pp. 68-83.
- LUCIA, F.J., 1970, Lower paleozoic history of the western Diablo Plataform of West Texas and South-Central New Mexico; West Texas Geol. Soc., Syposium on the geologic framework of the Chihuahua tectonic belt, p.
- MALPICA, C.R. Y DE LA TORRE, L.C., 1980, Integración estratigráfica del paleozoico en México; Inst. Mex. del Pet., Proyecto C-1079 (Inédito).
- MARTINEZ, B. H. A., 1983, Informe final del pozo Ojinaga No. 1; PEMEX, p. 19
- MATTES, B.W. Y MOUNTJOY, E.W., 1980, Burial Dolomitization of the upper miette build, Jasper National Park, Alberta; SEPM Spec. Publ. No. 28, pp. 259-297.
- MCLLEARTH, I.A. Y JAMES, N.P., 1979, Carbonate slopes: in: Walker, R.G., Facies Models., Geoscience Canada, Reprint Series 1, pp. 133-144.
- MORROW, D.W., 1982, Dolomitization models and ancient dolostones. Dolomit Part-2 Geoscience Canada, V.9, No. 2, pp. 85-107.
- NELSON, A.R., 1981, Significance of fracture sets associated with stylolite zones AAPG. Bull., V.65, No. 11, pp. 2417-2525.
- QUINTAL, P.H., 1983, Estudio geológico de detalle estructural, prospecto Placer de Guadalupe, Edo. de Chih; PEMEX NE-M1980 (Inédito).
- QUINTERO, L.O., 1984, El basamento precámbrico de Chihuahua en el rancho El Carrizalillo, Municipio de Aldama, Chih; Sociedad Geológica Mexicana, Resúmenes, Pág. 55, VII Convención Nacional, México, D.F.
- RAHIREZ, J. Y ACEVEDO, D., 1956, Notas geológicas sobre Chihuahua; Bol. Asoc. Geol. Petrol., V.9, p. 583-770.

- REECKMAN, A. Y. FRIEDMAN, G.M., 1982, Exploration for Carbonate petroleum reservoirs; John Wiley & Sons., 213 p.
- REINECK, H.E. Y. SINGH, I.B., 1975, Depositional Sedimentary Environments; Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 439 p.
- RICH, H., 1970, The genus *Tuberitina* (FORAMINIFERIOA) in Lower and Middle Pennsylvanian rocks of the eastern Great Basin; Jour. of Paleontology, V.44, No. 6, pp. 1060-1066.
- RODRIGUEZ, E.S., 1986, Geología del área de Placer de Guadalupe, Chih. Excursión Geológica: Precámbrico de Chih.; Sociedad Geológica Mexicana y Universidad Autónoma de Chih., libretto guía, p. 37-45.
- SCHOLLE, A.P., 1978, Carbonate rocks constituents, textures, cement and porosities; AAPG, Memoire 27, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., 241 p.
- SEARS, S.O. Y LUCIA, F.J., 1980, Dolomitization northern Michigan niagara reefs by brine refluxion and fresh water/sea water mixing; SEPM Special Publication No. 28, pp. 215-235.
- SHEEHAN, M.P., 1975, Lower Devonian brachiopods from the Solis Limestone, Chihuahua, Mexico; Jour. of Paleontology, V.40, No. 3, pp. 445-471.
- TOOMEY, D.F., 1972, The biota of the Pennsylvanian (virgilian) Leavenworth, limestone, midcontinent region. Part-3 Distribution of calcareous foraminifer; Jour. of Paleontology, V.46, No. 2, pp. 276-298.
- TISSOT, B.P. Y WELTE, D.H., 1982, El petróleo su formación y localización Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 589 p.
- VERA, O.M. Y TORRES, R.V., 1987, Diagnésis de Carbonatos División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 229 p.
- WANLESS, H.G., 1979, Limestone response to stress: pressure solution and dolomitization; Jour. Sed. Petrology, V.49, No. 2, pp. 437-462.
- WAPLES, D.W., 1980, Time and temperature in petroleum exploration application of Lopatin's method to petroleum exploration; AAPG Bull., V.64, pp. 916-926.
- WILSON, J.L., 1975, Carbonate facies in geologic history; Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 471 p.

- WILSON, J.L., MADRID, S.A. Y HALPICA, C.R., 1969, Microfacies of Pennsylvanian and Wolfcampian strata in southwestern U.S.A. and Chih., Mexico in the border region, Chih. and the United States; New Mexico Geol. Soc., Guidebook., pp. 80-90.
- WILSON, H.D. Y PITTMAN, E.D., 1977, Authigenic clays in sandstones: Recognition and influence on reservoir properties and paleoambiental analysis; Jour. Sed. Petrology, V. 47, No. 1, pp. 3-31.
- ZENEGER, D.H., 1980, Concepts and Model on Dolomitization; SEPH Special Publication No. 28, pp. 1-10.