

1123 //
R-1
2aj.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MICROFACIES PEDERNALOSAS, SUDIAGENESIS Y
PALEOAMBIENTES DE LA FM. TAMAULIPAS
SUPERIO EN LA REGION DE TEHUACAN,
ESTADO DE PUEBLA

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A

GERARDO HERNÁNDEZ RODRIGUEZ

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. VICTOR M. DAVILA ALCOSER

MÉXICO, D.F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2159*31



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

11
2e
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-052

SR. GERARDO HERNANDEZ RODRIGUEZ

Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el M. en C. Víctor Manuel Dávila Alcocer, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**MICROFACIES PEDERNALOSAS, SU DIAGENESIS Y PALEOAMBIENTES DE LA FM.
TAMAULIPAS SUPERIOR, EN LA REGION DE TEHUACAN, EDO. DE PUEBLA**

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	MARCO GEOLOGICO REGIONAL
III	ESTRATIGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO
IV	ANALISIS PALEOAMBIENTAL
V	ANALISIS DIAGENETICO
VI	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA
	APENDICES
	ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Ciudad Universitaria a 12 de junio de 1995

EL DIRECTOR



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS:RfLR'gtg.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Abandono

*Es quizá
el retomar un cierto
camino
lo que me aísla
del tiempo
corriente
Cierto es que el tiempo
carece del absoluto,
parece vestirse
pero sólo eso
Se detiene con un
extraño anuncio
en un momento preciso,
en el subterráneo
en los prados
o en la mirada tan
sólo
pero se estanca
sin duda
Me rehusó
de tal manera
a acumularme
en el montículo de arena
Suspendido en el abandono
amortajado en el regreso
Consciente empero
de ser isla viviente
en este mar petrificado
Porque los recuerdos
desollan el sentir
es que niego emprender
la fuga circular
irrumper en iteraciones*

inútiles

*Y qué más son
si no cuadros fijos
al muro temporal*

*Soy preso entonces
de un ínfimo
presente
de un ser, fustigado
por el temor
de la duplicidad
aún en el más breve
de los actos*

*Es ahí
que me despeño
en mi propio
interior:
no soporto asomo
alguno
a mi vida*

*De qué puede servir
la búsqueda de una
justificación
si el género
es dialécticamente
individual*

*Cómo puede hallarse
el sentir
tan ajeno al comportamiento
Dónde queda entonces
el pensar
ese reducto último
que abreva al moribundo
No puede ser posible
enclaustrarlo
en un ápice corporal*

*y retenerlo a la
fuerza
Tiene que fluir
por piedad
de sí mismo
y aislarse completamente
de todo contacto
de todo posible diálogo*

¡Quién quiere hablar!

*Nadie conoce
un sólo pensamiento
acaecido en mi interior,
en la más completa
soledad
que inunda los momentos
de abandono
en que se detiene
el tiempo
Y eso es el abandono
la isla
el tiempo que carece
de todo sentido
para cualquiera
No para mí
sin embargo*

*La muerte solamente
tiene significado
en el abandono*

*No es posible
ser libre
de otra manera
en otros términos*

*Sólo aquí
ahora
En soledad
en el tiempo estático
lejos de la farsa
que es el hombre*

*A mi padre,
en memoria*

*A mi madre,
gracias por la paciencia*

*A Claudia,
con todo el amor
que soy capaz de sentir*

*A todos los míos,
los nombres no son necesarios*

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más grande agradecimiento al director de esta tesis, el M. en C. Victor M. Dávila Alcocer, quien siempre me brindó con generosidad sus enseñanzas y su gran experiencia, gracias a lo cual este trabajo pudo ser llevado a buen término.

Pero sobre todo quiero agradecer su amistad y su paciencia. Gracias.

Asimismo expreso mi agradecimiento al Dr. José Francisco Longoria Treviño, quien amablemente accedió a revisar las determinaciones taxonómicas del estudio bioestratigráfico, dándole soporte y validez con su valiosa opinión. Gracias.

Igualmente agradezco al Diseñador Gráfico Eduardo Pérez Trejo quien desinteresadamente me brindó sus conocimientos en computación y asesoría en el manejo digital de las imágenes y figuras contenidas en este trabajo. Gracias, además, por tu amistad.

Agradezco al Dr. Dante Morán Zenteno, director del Instituto de Geología de la UNAM, por todas las facilidades otorgadas para la realización, en las instalaciones de dicho Instituto, de esta tesis.

Finalmente, agradezco a las siguientes personas su ayuda en momentos distintos de la elaboración de esta tesis:

- Dr. Jaime Barceló Duarte*
- Quím. Margarita Reyes*
- Ing. Rufino Lozano*

INDICE

Resumen

I. Introducción	1
II. Generalidades	4
A. Objetivos	4
B. Metodología	4
C. Vías de Acceso	6
D. Antecedentes	7
III. Estratigrafía	15
1. Litoestratigrafía	16
A. Microfacies	27
2. Bioestratigrafía	41
A. Foraminíferos Planctónicos	41
a. Especímenes sueltos	41
b. Lámina delgada	41
IV. Análisis Paleoambiental	50
1. Ambiente de Depósito	50
A. Microfacies Estándar de Wilson	50
B. Modelo Ambiental	55
V. Análisis Diagenético	60
VI. Conclusiones	74
<i>Bibliografía</i>	76

Apéndices

- Petrográfico

Anexos

- Fotográfico

Indice de Tablas y Figuras

FIGURAS

- <i>Figura 1.</i> Mapa de Localización	8
- <i>Figura 2.</i> Mapa de Localización, Sección Río Calapa	17
- <i>Figura 3.</i> Sección Estratigráfica, Localidad Río Calapa	19
- <i>Figura 4.</i> Mapa de Localización, Sección San Bernardino Lagunas	21
- <i>Figura 5.</i> Sección Estratigráfica, Localidad San Bernardino Lagunas	23
- <i>Figura 6.</i> Mapa de Localización, Sección Miahuatepec	25
- <i>Figura 7.</i> Sección Estratigráfica, Localidad Miahuatepec	26
- <i>Figura 8.</i> Zonificación Bioestratigráfica del Cretácico	42
- <i>Figura 9.</i> Bioestratigrafía, Localidad Calapa	45
- <i>Figura 10.</i> Bioestratigrafía, Localidad San Bernardino Lagunas	47
- <i>Figura 11.</i> Bioestratigrafía, Localidad Miahuatepec	49
- <i>Figura 12.</i> Esquema de Facies de Wilson	51
- <i>Figura 13.</i> Paleogeografía de la Cuenca del Golfo de México	56
- <i>Figura 14.</i> Modelo Paleoambiental de la Cuenca de Zongolica	57
- <i>Figura 15.</i> Modelo Paleoambiental, Formación Tamaulipas Superior, Area Tehuacán..	59

TABLAS

- <i>Tabla 1.</i> Antecedentes, Formación Tamaulipas Superior	11
- <i>Tabla 1A.</i> Antecedentes, Formación Tamaulipas Superior (Segunda Parte)	12
- <i>Tabla 2.</i> Antecedentes, Formación Miahuatepec	13
- <i>Tabla 2A.</i> Antecedentes, Formación Miahuatepec (Segunda Parte)	14
- <i>Tabla 3.</i> Microfacies, Localidad Río Calapa (Resumen)	31
- <i>Tabla 4.</i> Microfacies, Localidad San Bernardino Lagunas (Resumen)	35

- <i>Tabla 5.</i>	Microfacies, Localidad Miahuatepec (Resumen)	40
- <i>Tabla 6.</i>	Facies y Microfacies de Wilson, Localidad Río Calapa	52
- <i>Tabla 7.</i>	Facies y Microfacies de Wilson, Localidad San Bernardino Lagunas	54
- <i>Tabla 8.</i>	Facies y Microfacies de Wilson, Localidad Miahuatepec	55
- <i>Tabla 9.</i>	Diagénesis, Localidad Río Calapa (Resumen)	64
- <i>Tabla 10.</i>	Diagénesis, Localidad San Bernardino Lagunas (Resumen)	70
- <i>Tabla 11.</i>	Diagénesis, Localidad Miahuatepec (Resumen)	73

RESUMEN

La secuencia en estudio se designa con el nombre *Formación Tamaulipas Superior* dada la gran aceptación que esta nomenclatura tiene, incluso a nivel internacional.

El estudio efectuado en el presente trabajo sobre las microfacies pedernalosas de la secuencia mencionada, se llevó a cabo en tres localidades, en los alrededores de Tehuacán, Pue.: Río Calapa, San Bernardino Lagunas, y Miahuatepec.

Se considera a Río Calapa como la localidad de referencia para esta región.

En ella, la secuencia consiste de wackestones y packstones bioclásticos de color crema amarillento con tonos rojizos de intemperismo, en estratos delgados y medios, plegados, con abundantes horizontes y lentes de pedernal negro, e intercalaciones muy delgadas de margas.

En la localidad Río Calapa la Formación Tamaulipas Superior descansa, en contacto transicional, sobre una unidad considerada en este trabajo como Albiano Inferior.

En la localidad San Bernardino Lagunas la secuencia estudiada descansa discordantemente sobre la Formación Chivillas Superior del Hauteriviano-Aptiano Temprano (Alzaga, 1987).

En la localidad Miahuatepec la secuencia en cuestión sobreyace discordantemente, por falla, a la Formación Zapotitlán del Barremiano (Calderón, 1956).

El contacto superior de la secuencia no aflora en esta región.

La facies pedernalosa consiste de pedernales microcristalinos y criptocristalinos de radiolarios y foraminíferos planctónicos, estos últimos silicificados. En el análisis de microfacies para la facies pedernalosa se propone una diferenciación meramente descriptiva: microfacies pedernalosa criptocristalina y microfacies pedernalosa microcristalina, la cual se subdivide en microcristalina fina y microcristalina gruesa.

La facies carbonatada consiste principalmente de biomicritas de radiolarios micritizados y foraminíferos planctónicos. En la localidad Miahuatepec, sin embargo, esta facies consiste de biomicritas y de turbiditas.

El estudio bioestratigráfico se basó en foraminíferos planctónicos tanto en lámina delgada como en especímenes sueltos; estos últimos fueron recuperados de la facies de pedernal mediante la técnica establecida por Pessagno y Newport (1972). La bioestratigrafía está basada en la zonificación bioestratigráfica del Cretácico, de Longoria (1984).

De esta manera, la Formación Tamaulipas Superior, tanto en Río Calapa como en Miahuatepec, es asignada en su porción inferior a la Zona K-14? (correspondiente al Albiano Temprano) y en su porción media-superior a la Zona K-16 (Vraconiano Temprano).

En San Bernardino Lagunas la secuencia es asignada en su porción inferior a la Zona K-14?, y en su porción más alta a la Zona K-17 (Vraconiano Tardío).

De acuerdo con el Modelo de Microfacies Estandar de Wilson, la Formación Tamaulipas Superior, en la localidad Río Calapa, corresponde a la Zona de Facies 3 (Margen de Cuenca), con cambios breves y episódicos a la Zona de Facies 1 (Cuenca). En San Bernardino Lagunas la secuencia se depositó en la Zona de Facies 3, pasando en la porción superior a la Zona de Facies 1. En Miahuatepec la secuencia se depositó en la Zona de Facies 3, cambiando periódicamente a la Zona de Facies 4 (Talud).

El modelo ambiental que se presenta está basado en la paleogeografía de la Cuenca del Golfo de México (Salvador, 1991), sugiriéndose aquí la continuación de la facies de cuenca en dicho modelo hacia el occidente de la Plataforma de Córdoba, para el Albiano.

El depósito de la Formación Tamaulipas Superior en la región trabajada se suscitó dentro de la Cuenca de Zongolica (modelo paleogeográfico de González Alvarado, 1976), durante una gran transgresión que daría como resultado el depósito de facies de cuenca (Alzaga, 1987).

Finalmente, los eventos diagenéticos más sobresalientes en la facies carbonatada de esta secuencia, con ligeras variaciones en las tres localidades, fueron la micritización de los radiolarios, dos eventos de presión-solución, y tres eventos de fracturamiento rellenos por calcita. No obstante, las fracturas del segundo evento de fracturamiento tienen impregnaciones de hidrocarburos ligeros, y en ocasiones de hidrocarburos pesados.

La diagénesis de la facies de pedernal fue más compleja, primero se produjo la silicificación de los foraminíferos planctónicos y la recristalización de los radiolarios, posteriormente la compactación originó un microbudinado y un evento de presión-solución. Subsiguientemente los fracturamientos arriba mencionados, y en seguida una serie de remplazamientos por carbonatos. "

CAPITULO I. INTRODUCCION

La secuencia en estudio ha sido interpretada de distintas maneras por los autores que se han ocupado de ella, desde hace más de 40 años. Así, ha sido asignada a diferentes formaciones, ambientes sedimentarios y edades.

El presente trabajo pretende analizar desde diversos aspectos las microfacies pedernalosas de esta secuencia, en tres localidades de los alrededores de la ciudad de Tehuacán, con el propósito de dilucidar las incertidumbres creadas en torno a esta unidad.

Cabe mencionar que todos los análisis que se llevaron a cabo en este trabajo se efectuaron y se presentan para cada localidad por separado, ya que si bien son parte de una misma unidad, se trata de tres localidades con características distintas.

En el presente estudio se considera como localidad de referencia el Río Calapa, dado que el tema de éste se centra en las microfacies pedernalosas, y es precisamente en Calapa donde la secuencia presenta una mayor abundancia de horizontes de pedernal, los cuales al tener un alto contenido de pedernal criptocristalino permiten un análisis más completo de microfacies, bioestratigráfico y aún diagenético. Características todas estas presentes en menor proporción en San Bernardino y en Miahuatepec. Además de ello, en el Río Calapa la secuencia se encuentra mejor expuesta y es de más fácil acceso.

Estas tres localidades a pesar de situarse dentro de una pequeña región no habían sido tomadas en cuenta, hasta ahora, dentro de un mismo estudio geológico.

Esta puede ser una de las razones por las que reciben interpretaciones distintas, e incluso erróneas en ocasiones.

Una de las dificultades para asignar a esta secuencia el nombre de *Formación Tamaulipas Superior* es el interpretar que dicha formación haya tenido un desarrollo tal, que se depositara tanto en el noreste del país como en la región oriental y centro-oriental de éste. Para lo cual era necesario establecer un modelo paleoambiental que explicara esta cuestión.

Algunos modelos han sido propuestos para tal efecto, no obstante estos se circunscriben únicamente a la región en estudio y sus alrededores.

Tomando en cuenta que existen ya modelos paleogeográficos regionales, respaldados por una gran experiencia en el tema, en el presente trabajo se toman como base dos modelos (Cuenca del Golfo de México, y Plataforma de Córdoba), para lograr sustentar la interpretación de un depósito tan amplio de facies de aguas profundas para la edad correspondiente; y ubicar, así, de manera clara y viable, la secuencia bajo estudio dentro de la paleogeografía de México.

En otro sentido, en cuanto a las microfacies pedernalosas ningún trabajo previo había considerado la alternativa de estudiarlas (en esta región), y los horizontes de pedernal sólo habían sido reportados, llegando incluso a ser interpretados como pedernales secundarios por algunos autores.

Por tal motivo, y en busca de mayores criterios para establecer interpretaciones más amplias y fundamentadas, se elaboró aquí un tema para centrarse en el estudio de estas facies desde aspectos tan importantes como el análisis de microfacies, la bioestratigrafía y el análisis diagenético.

Para tal efecto se laminaron 33 muestras de pedernal de las cuales además se procesaron 11, con el fin de recuperar los microfósiles para su estudio. Esto implicó, además de una gran cantidad de tiempo invertido, el enfrentarse a técnicas que no funcionan de la misma forma para las distintas variedades de rocas, lo que de alguna manera representó variables que fueron surgiendo durante el proceso.

El análisis de microfacies pretendió proponer una clasificación descriptiva para pedernales, lográndose separar diferentes microfacies, que resultan de utilidad práctica para caracterizar esta facies.

Para el estudio bioestratigráfico con especímenes sueltos se seleccionaron algunos pedernales de Río Calapa (por las razones mencionadas anteriormente), de los que se obtuvieron foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Sin embargo estos últimos no se pudieron estudiar ya que la preservación es mala, a causa de la recristalización. Por tanto, sólo se utilizaron los foraminíferos para la bioestratigrafía, pues la preservación que tienen es adecuada para ello. Empero los resultados que arrojará el procesamiento de las

muestras obligó a sustentar la bioestratigrafía esencialmente en lámina delgada, aún de pedernales.

El análisis diagenético de las facies pedernalosas dio lugar a importantes aseveraciones para el estudio de esta secuencia, reflejando perfectamente los eventos diagenéticos acaecidos en estas rōcas, a tal grado que de no ser estudiados los pedernales en lámina delgada, la información diagenética que pudiera tenerse de la secuencia sería totalmente incompleta.

CAPITULO II. GENERALIDADES

A. OBJETIVOS

Generales

- Analizar las secuencias calcáreas ricas en pedernales expuestas en las localidades: Río Calapa, San Bernardino Lagunas y Miahuatepec, en las cercanías de Tehuacán, Pue., en sus aspectos estratigráficos, paleoambientales, bioestratigráficos y diagenéticos.

Particulares

- Caracterizar litológicamente la secuencia en estudio.
- Elaborar un análisis de microfacies, tanto pedernalosas como carbonatadas, a fin de conocer con detalle la constitución de estas rocas.
- Determinar la bioestratigrafía de la unidad en cuestión, con base en foraminíferos planctónicos tanto en especímenes sueltos como en lámina delgada.
- Realizar un análisis paleoambiental, mediante el Modelo de Microfacies Estándar de Wilson y modelos paleogeográficos preestablecidos, con el fin de interpretar con bases suficientes el ambiente de depósito de la unidad en estudio.
- Elaborar el análisis diagenético y establecer la paragénesis acaecida en estas rocas.

B. METODOLOGIA

- Trabajo de Campo

De acuerdo con los intereses de este trabajo, de las tres secciones que se tenía previsto medir en campo, correspondientes a las tres localidades bajo estudio, sólo se midieron las secciones en las localidades Río Calapa y San Bernardino Lagunas. Ambas secciones se midieron por partes.

La sección Río Calapa se midió en dos etapas, la primera de ellas se efectuó con cinta y abarcó 97.1 m, a partir de la base. Para el resto de la sección (151.3 m) se utilizó la brújula Brunton y clinómetro.

La Sección San Bernardino Lagunas se midió en tres etapas debido a condiciones logísticas. La primera de ellas (71.06 m) se efectuó con brújula y clinómetro, para la segunda (121.21 m) y tercera (185.72 m) etapas se utilizó el método de nivel de mano.

La sección que corresponde a la localidad sierra de Miahuatepec únicamente se realizó como un reconocimiento de campo con un muestreo de control; el espesor que se reporta es estimado a partir de la diferencia de cotas en la carta topográfica y la inclinación de los echados tomados en campo.

El muestreo, en un principio, se pretendió realizar cada 5 m, sin embargo las condiciones de los afloramientos no siempre lo permitieron (ver secciones estratigráficas). En la sección Río Calapa en promedio se colectó una muestra cada 13 m; en la sección San Bernardino el muestreo se llevó a cabo en promedio a cada 12.8 m. Caso aparte es la sección Miahuatepec ya que el muestreo fue escaso, tomándose una muestra aproximadamente cada 27 m en promedio. Se colectaron en total 97 muestras.

- Laboratorio

Los análisis petrográficos y de microfacies se llevaron a cabo en láminas delgadas elaboradas con resina epóxica, con la finalidad de su estudio en microscopio electrónico (SEM) y de catodoluminiscencia.

En ocasiones se procuró hacer dos láminas delgadas de aquellas muestras que contenían ambas litologías, caliza y pedernal; de esta manera, en el capítulo III tanto la litoestratigrafía como el análisis de las microfacies se tratan considerando por separado esas dos facies, lo cual se explica mejor en dichos apartados. En las láminas delgadas, por otro lado, se cuenta con la dirección de la sedimentación; por tanto, en el Apéndice Petrográfico continuamente se hace referencia a la cima o a la base de las muestras.

Para la clasificación de la facies carbonatada se utilizó la Clasificación de Rocas Carbonatadas de Folk (en Flügel, 1982). El análisis de microfacies se llevó a cabo tomando en consideración los criterios de Flügel (*op. cit.*), y el Modelo de Microfacies Estándar de Wilson (1975). Mientras que para la facies pedernalosa, en el presente trabajo, se propone una clasificación descriptiva diferenciando dos microfacies: microfacies pedernalosa criptocristalina y microfacies pedernalosa microcristalina, la última de las cuales se

subdivide a su vez en cristalinidad fina y cristalinidad gruesa. Estas microfacies se exponen con mayor detalle en el Capítulo III.

En cuanto al estudio bioestratigráfico, con respecto a los foraminíferos planctónicos, se practicó en lámina delgada así como en especímenes sueltos. El resto del contenido faunístico se determinó solamente en lámina delgada.

El estudio de los foraminíferos planctónicos en especímenes sueltos se efectuó procesando los pedernales con ácido fluorhídrico en una proporción de 1:9, de acuerdo con lo propuesto por Pessagno (1972), recuperando el residuo lavado para su análisis bajo el microscopio estereoscópico. A partir de este residuo lavado se seleccionaron los especímenes para su caracterización, la cual se basó primordialmente en la tesis doctoral de Longoria (1972). Una vez llevada a cabo ésta, se fotografiaron en el microscopio electrónico de barrido (SEM) las especies más representativas estratigráficamente.

Las determinaciones de los foraminíferos planctónicos en lámina delgada se basó igualmente en diversos trabajos de Longoria (1972, 1975, 1977a, 1977b y 1984), así como en los de Longoria y Dávila (1979), y Ross & McNulty (1981).

C. VIAS DE ACCESO

Las localidades establecidas para el estudio de la Formación Tamaulipas Superior en el presente trabajo, se circunscriben a los alrededores de la ciudad de Tehuacán, en el Estado de Puebla.

El acceso a la ciudad de Tehuacán, partiendo de la Ciudad de México, se lleva a cabo por la autopista México-Puebla, carretera federal no. 125.

La ciudad de Tehuacán puede considerarse como el punto de partida para las tres localidades estudiadas (fig. 1):

- *Localidad Río Calapa* (Hoja Tehuacán, INEGI -E14B75-)

A esta localidad se llega mediante la nueva autopista Puebla-Oaxaca, y se localiza en el km 82 de la misma, en donde se encuentra el puente Calapa. En ese punto, sobre el costado oeste de la autopista hay una brecha que conduce prácticamente hasta el lecho del Río Calapa; sin embargo las condiciones de esta brecha no permiten la entrada con vehículo y sólo se puede transitar a pie.

- Localidad San Bernardino Lagunas (Hoja Acultzingo, INEGI -E14B66-)

Al NE de la ciudad de Tehuacán se localiza el entronque con la carretera federal no. 150, a Acultzingo; después de transitar durante 15 km aprox. por esta carretera, se llega al poblado de Chapulco donde se encuentra la desviación hacia San Bernardino Lagunas, el cual se localiza a 20 km de Chapulco.

- Localidad Miahuatepec (Hoja Tehuacán, INEGI)

Esta localidad toma su nombre de la sierra de Miahuatepec, donde se trabajó la sección correspondiente.

El acceso a esta sierra es a través de la carretera federal no. 125, al sur de Tehuacán, hasta llegar a la ranchería Las Ventas, donde se toma una brecha que conduce a las cercanías de la base de la sierra de Miahuatepec.

D. ANTECEDENTES

La secuencia en estudio ha sido denominada con dos nombres diferentes a lo largo de los años, en los que ha sido ampliamente incluida en estudios de geología regional.

Muir (1936), asignó el nombre de Caliza Tamaulipas Superior a una secuencia de calizas con pedernal, determinando un ambiente de formación marino de cuenca, y considerando una edad Aptiano-Cenomaniano; con localidad tipo en el cañón de la Borrega, en la sierra de Tamaulipas.

Por otro lado, Calderón (1956), denomina Formación Miahuatepec a una unidad carbonatada con bandas de pedernal e intercalaciones de margas, atribuyéndole un ambiente marino de plataforma y una edad Aptiana, sugiriendo como localidad tipo la sierra de Miahuatepec, en Puebla.

Con el tiempo, varios autores han establecido que la Formación Miahuatepec corresponde en realidad a la Formación Tamaulipas Superior, con base principalmente en “similitudes” litológicas con aquella, resaltando sin embargo diferencias en cuanto al ambiente de depósito, y en ocasiones disintiendo en cuanto a la edad, asignados por Calderón (*op. cit.*).

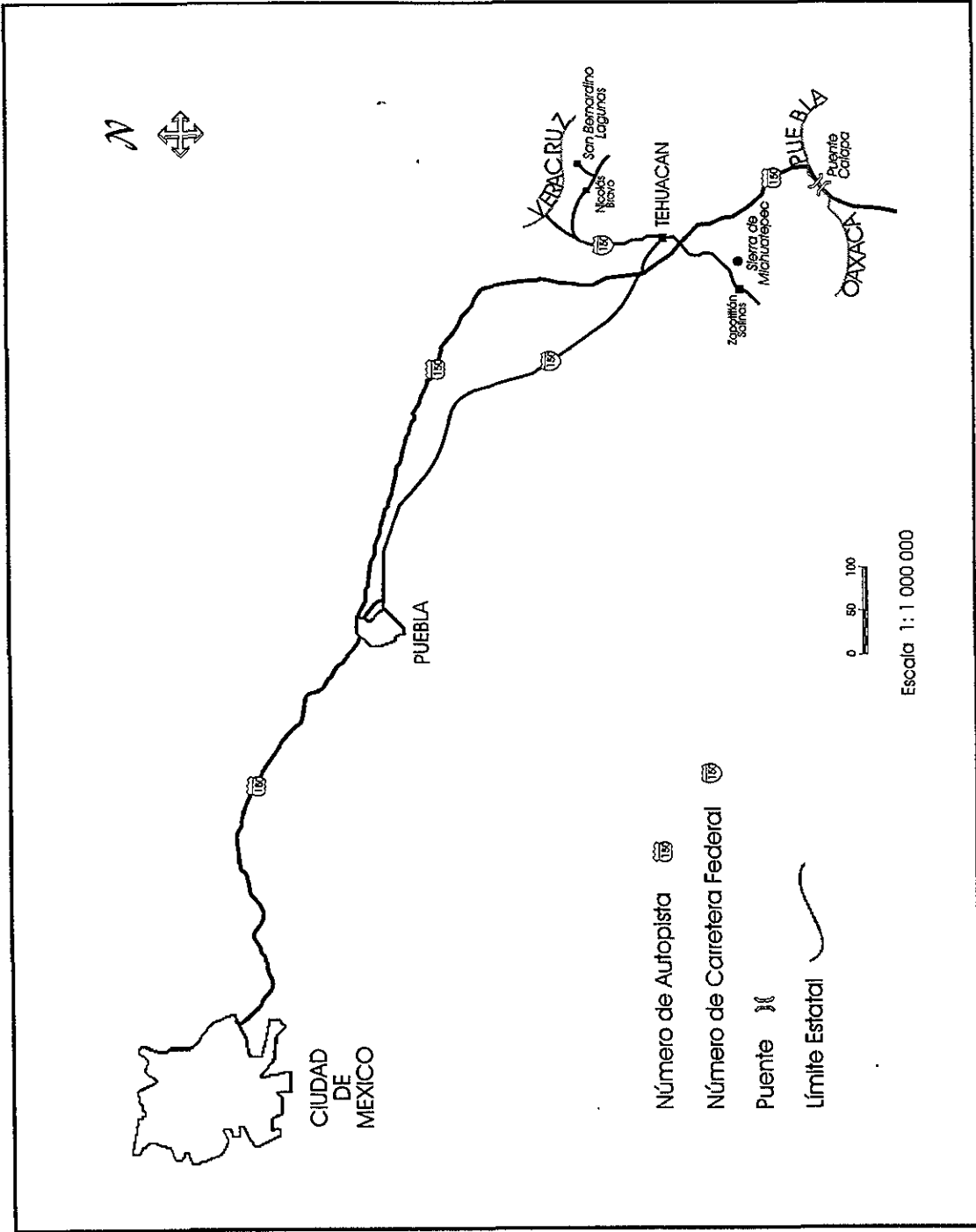


Fig. 1 Mapa de localización. Vías de acceso y localidades estudiadas.

Como se puede apreciar, el estudio de esta formación se ha llevado a cabo a través de dos interpretaciones diferentes, si bien ambas pueden circunscribirse, también, a dos regiones; es decir, la Formación Tamaulipas Superior se presenta en el NE de México en el Estado de Tamaulipas, además de Veracruz y una porción de Puebla. Por otra parte, la Formación Miahuatepec aflora en las inmediaciones de Tehuacán, Pue.

Estas dos regiones tienen en común al Estado de Puebla, específicamente los alrededores de Tehuacán, donde se ha caracterizado la secuencia con ambas definiciones.

Así, hacia el sur de Tehuacán, en las sierras de Miahuatepec y Atzingo se habla de Formación Miahuatepec. Mientras que hacia el NE de dicha ciudad, en San Bernardino Lagunas, la sierra de Chivillas, etc., se reporta como *Formación Tamaulipas Superior*.

Diversos autores, a partir de las interpretaciones de Muir y Calderón, basaron estudios posteriores con sus propios objetivos y consecuentes aportaciones, amén de diferencias y enmiendas -sobre todo en lo que respecta a edad-, pero siempre tomando dichas referencias.

En las tablas 1 a 2A se proporciona, de manera breve, una sinopsis de los trabajos mencionados en el párrafo anterior. La selección y consulta de los autores trató de ser lo más amplia posible con el propósito de integrar una suficiente visualización del problema. Las fuentes se incluyen en la bibliografía.

De acuerdo con las *Tablas 1* (p. 14) y *1A* (p. 15), la Formación Tamaulipas Superior ha sido tratada con cierta relación de criterios independientemente del área de estudio; toman como referencia a diversos autores (Belt, Muir, Stephenson, op. cit.), atribuyendo a alguno de ellos, según sea el caso, la definición de esa unidad. Con pequeñas variantes (Pano, 1978), coinciden en interpretar un ambiente de cuenca para esta secuencia, asignando empero edades diversas de acuerdo con sus respectivos estudios micropaleontológicos, aún en áreas semejantes.

Una cuestión aparte es el trabajo de Longoria (1975), en el cual redefine la Formación Tamaulipas Superior como "Miembro Caliza Nacimiento", a pesar de que tal nomenclatura no ha sido considerada como debiera ser y persiste el nombre Formación Tamaulipas Superior para esta unidad.

Las *Tablas 2* (p. 16) y *2A* (17) dan cuenta de las distintas interpretaciones que los autores han hecho sobre lo que consideran como Formación Miahuatepec. Empero, todos ellos toman como referencia común a Calderón (1956), y a partir de ahí establecen sus propios análisis. Entre las cuestiones más interesantes a resaltar de estos trabajos se encuentra el hecho de que, en general, asignan un ambiente de depósito de plataforma con base en la litología, aún y cuando Barrientos (1985), interpreta un ambiente de talud tomando en consideración “la presencia de pedernal en la parte basal”, y Bermúdez (1987) interpreta la cima de la unidad como un “ambiente abisal”. Por otro lado, estos dos autores consideran que el pedernal de la secuencia es de origen secundario.

Otro punto de interés es la edad que asignan los autores presentados en dicha tabla; tomando nuevamente como referencia a Calderón (*op. cit.*), principalmente, pero apoyados en estudios micropaleontológicos, asignan edades dispares entre sí, llenando desde el Aptiano (Barceló, 1978), hasta Aptiano-Turoniano (Barrientos, *op. cit.*).

A lo largo del presente estudio se tratan, entre otras, todas estas cuestiones ofreciendo criterios sedimentológicos, de microfacies y bioestratigráficos, con el propósito de dilucidar las incertidumbres que los trabajos mencionados crean por la disparidad de los criterios, que en ellos se utilizaron, para tales interpretaciones.

Tabla 1. Estudios Antecedentes: Formación Tamaulipas Superior.

	Belt (1925) Area de Tampico	Muir (1936) Región de Tampico	Vázquez (1973) Area de Zongolica, Ver.	Longoria (1975) Area Noreste de México
Definición	Nombra la Formación como Caliza Tamaulipas por su ocurrencia "y desarrollo típico" en el Estado de Tamaulipas, sin hacer ninguna división de ella, como lo hizo posteriormente Muir (1936).	Nombra la "Caliza Tamaulipas" por formar la "masa principal" de la Sierra de Tamaulipas. Establece una división tripartita: Caliza Tamaulipas Inferior, Horizonte Otates, y Caliza Tamaulipas Superior.	Toma la referencia de Muir (op. cit.).	Redefine la Caliza Tamaulipas en lo que respecta a la división tripartita de ésta, proponiendo el nombre Miembro Caliza Nacimiento para lo que se conoce generalmente con el nombre de Formación Tamaulipas Superior.
Distribución	Aflora en la Sierra Madre, desde Tamazunchale hasta el sur de Coyutla.	Aflora en la Sierra de Tamaulipas (localidad tipo: cañón de La Borrega), en la Sierra de San Carlos, Monterrey, Victoria y Gómez Farías.	En una franja alargada con orientación N-S al occidente del área.	Aflora en la sierra de Tamaulipas, su localidad tipo; en el Cañón de la Boca al SE de Monterrey, y en las sierras Picachos y Papagayos.
Litología	Caliza compacta, con estratificación bien definida. En la porción superior, caliza de color gris con abundantes lentes y nódulos de pedernal negro a casi blanco. En la porción inferior calizas compactas color crema con escaso pedernal blanco.	Hacia la parte inferior, calizas estilolíticas de color gris claro en estratos masivos. Hacia la parte superior calizas con estratificación delgada e irregular con pedernal negro y en tonos claros.	Mudstone color pardo claro grisáceo a pardo crema; con nódulos, lentes y bandas de pedernal negro de 10-40 cm de espesor; con intercalaciones de estratificación media y gruesa de wackestone-packstone de peltas y bioclastos (turbiditas), de color gris.	En su localidad tipo consiste en una secuencia uniforme de calizas color pardo a gris de estratificación media, con escasos lentes de pedernal color crema; menciona una "notable carencia" de lutitas interestratificadas.
Estructura	No lo trata.	No lo trata.	No menciona estructura alguna.	Sierra de Tamaulipas: orientación NW, 80 km de largo y 45 km de ancho.
Relaciones Estratigráficas	Deduce que sobryace en discordancia a la Caliza Tamasopo del Cretácico Inferior, y subyace discordantemente a la Fm. San Felipe del Cretácico Tardío.	En la localidad tipo sobryace al Horizonte Otates del Aptiano-Albiano, y subyace "gradacionalmente" a la Fm. Agua Nueva, del Turoniano.	Sobryace concordantemente a la "Fm. Otates" del Barremiano y subyace a la Fm. Agua Nueva del Turoniano, concordantemente.	Localidad tipo: descansa en transición sobre el Miembro Horizonte Otates (Aptiano T.) y subyace a la Fm. Cuesta del Cura (Albiano T.-Cenomaniano).
Fósiles	Menciona que esto no formó parte de los objetivos de su trabajo.	Menciona que Sellard (1925), reportó <i>Kingena wacoensis</i> y <i>Epiaster elegans</i> .	<i>Colomiella recta</i> , <i>C. mexicana</i> , <i>Nannocoelus trivittatus</i> , <i>N. minutus</i> y <i>Microcalamoides diversus</i> .	Refiere la base a la Zona Hedbergella gorbachikae; en la cima: la primera aparición de <i>Thalmaninella evoluta</i> .
Edad	Cretácico Inferior (sin mayor detalle ni explicación). No lo menciona.	Por posición estratigráfica y paleontología: Albiano-Cenomaniano.	Por micropaleontología, Aptiano Tardío.	Por bioestratigrafía, cima del Aptiano Tardío-base del Cenomaniano.
Ambiente de Depósito		Sólo refiere que Burckhardt designó un ambiente batial para las calizas de facies de aguas profundas del Albiano-Cenomaniano (Caliza Tamaulipas), sin mayor explicación.	Basado en la litología, paleontología y la presencia de turbiditas, indica un ambiente de aguas profundas, en el margen de una plataforma.	Por "interpretaciones ecológico-batimétricas", presencia de fragmentos de moluscos y de equinodermos, y la relación de foraminíferos planctónicos y bentónicos: facies prearrecifal, en profundidades neríticas.

Tabla 1A. Estudios Antecedentes: Formación Tamaulipas Superior (Segunda Parte).

	Pano (1978) Area Tehuacán, Pue.	Patino (1978) Area Calipa-Tepexilotla, Pue.	Toriz (1984) Area Tehuacán, Pue.	Alzaga (1987) Area Tehuacán, Pue.
Definición	Fm. Tamaulipas Superior, por semejanza litológica y faunística.	Toma la referencia de Stephenson (op. cit.).	Toma la referencia de Muir (op. cit.).	No lo trata.
Distribución	Formando la Sierra Miahuatpec, en el C. La Yerbabuena y la Sierra Chivillas.	En Xsocioinga, Tepetzintla y Cotomeapan, Pue. y Tepetzintla Ver.,	Porción noroccidental del área, en una franja orientada SE-NW.	San Bernardino Lagunas y sierra de Chivillas.
Litología	En la sierra de Miahuatpec: mudstone con bandas de pedernal alternando con turbiditas distales; gradúa a margas y disminuye el pedernal. En el C. La Yerbabuena: mudstone arcilloso con bandas de pedernal.	Mudstone color pardo, pardo grisáceo y gris ligeramente arcilloso, en capas medianas con abundantes nódulos de pedernal de color ámbar, pardo y negro y con aisladas intercalaciones de lutita calcárea color gris oscuro.	Hacia la base, calizas arcillosas (mudstone a wackestone), con algunas bandas de pedernal casi laminares. Hacia la cima aumenta la presencia de pedernal, en bandas, lentes y nódulos.	Predominan wackestones con microfósiles y mudstones arcillosos con intercalaciones limo-arcillosas laminares. Reporta una base calcáreo-arenosa, que gradúa a un depósito propiamente de carbonatos.
Estructura	No menciona estructura alguna.	No menciona estructura.	No menciona estructura alguna.	No menciona estructura.
Relaciones Estratigráficas	Sierra Miahuatpec: sobreyace a la Fm. Zapotitlán (Hauteriviano Tardío-Barremiano Temprano) y subyace a la Fm. Mezcala (Senoniano) en concordancia.	Sobreyace "normalmente" a la Fm. Chivillas de edad Valanginiano Tardío-Barremiano en el área de Xsocioinga, Pue.	Sobreyace en concordancia a la Fm. Chivillas Superior (Barremiano-Aptiano) y subyace concordantemente a la Fm. Tecamalucan del Turoniano.	Subyace concordantemente a la Fm. Maltrata del Turoniano y sobreyace concordantemente a la Fm. Chivillas Superior, de edad Hauteriviano-Aptiano Temprano.
Fósiles	-Parte Basal: Colomiella recta y C. mexicana, Microcalamoides diversus, Stomiosphaera sp., Pithonella ovalis. - Parte Superior: Calcisphaerula innominata, Pithonella frejoi, P. ovalis, Rotalipora sp., y Globigerinelloides bentonensis?.	Calcisphaerula innominata, Pithonella ovalis, Globigerina sp., Rotalipora sp., Hedbergella delrioensis, Pithonella frejoi, Praeglobotruncana sp., Labusella washitensis, Heterohelix moremani, Ticinella sp., y Nannoconus truiti.	Ausencia de fauna determinativa en la base. En la cima Favusella sp. - Parte Superior: Colomiella recta, Nannoconus truiti, Nannoconus minutus, y Favusella sp.	Calcisphaerula innominata, Favusella washitensis, Nannoconus truiti, E. hilfermanni, H. planispira, H. robesae, H. amabilis, Heterohelix moremani, Globigerinelloides ferrecolensis, G. maridalensis, Praeglobotruncana stephani, Loeblichaella hessi, Burckhardtites sp.
Edad	Por micropaleontología, Aptiano-Albiano-Cenomaniano.	Por micropaleontología, Albiano-Cenomaniano.	Toma la referencia de trabajos anteriores (sin indicar cuáles): Aptiano-Cenomaniano.	Por micropaleontología, asigna una edad Aptiano Tardío-Cenomaniano.
Ambiente de Depósito	Por la litología y fauna de la secuencia interpreta un ambiente de cuenca próxima a un borde de plataforma.	Por litología, ambiente de cuenca de mar abierto de cierta profundidad.	Basado en la litología: ambiente de aguas profundas, en una zona próxima a un borde de plataforma.	Por características litológicas y faunísticas: ambiente nerítico, predominando las facies de plataforma externa.

Tabla 2. Estudios Antecedentes: Formación Miahuatepec.

	Calderón (1956) Area Tehuacán, Pue.	Barceló (1978) Area Tehuacán, Pue.
Definición	La denomina por aflorar en la sierra de Miahuatepec.	Toma la referencia de Calderón (op. cit.).
Distribución	En una faja con rumbo N-S, al sur de Tehuacán y formando las sierras de Miahuatepec y Atzingo.	Formando la totalidad de la sierra de Miahuatepec.
Litología	Hacia la base, alternancia de calizas y bandas de pedernal, que disminuye hacia la cima donde hay intercalaciones con margas.	Calizas (micritas) con bandas y nódulos de pedernal. Hacia la base, intercalaciones de margas. Cambio de facies de la Fm. San Juan Raya.
Estructura	Parte de la Sierra de Miahuatepec forma el flanco oriental de un anticlinal recostado al E, con rumbo N-S. La porción oriental de esta sierra y de la de Atzingo presenta abundantes y variados pliegues, la mayoría recostados y con rumbo N-S o NW-SE.	No observó ninguna estructura general, sólo un echado regional hacia el E.
Relaciones Estratigráficas	Sobryace concordantemente a la Fm. Zapotitlán del Barremiano y subyace en discordancia a la Fm. Tehuacán, del Terciario.	Sobryace concordantemente a la Fm. Zapotitlán del Barremiano y subyace en discordancia a la Fm. Tehuacán de edad Terciaria.
Fósiles	Observa que la Formación es muy pobre en fósiles; sólo menciona restos de peces y de escamas, pedacitos de paquidontos, y una impresión mal conservada de un pelecepodo.	También refiere la pobreza de esta unidad en cuanto a fósiles, reporta muestras mal conservadas de ? <i>Cardium</i> sp. y un molde externo de ? <i>Pterotrigonía</i> sp.
Edad	Con base en su posición estratigráfica, y relaciones de campo, determina una edad Aptiano.	Por sobryacer a la Fm. Zapotitlán (Barremiano) y por tener fauna muy semejante a la de la Fm. San Juan Raya (Aptiano), determina una edad Aptiano.
Ambiente de Depósito	Ambiente de aguas someras.	Por litología y paleontología, ambiente marino somero.

Tabla 2A. Estudios Antecedentes: Formación Miahuatepec (Segunda Parte).

	<p>Barrientos (1985) Area Tehuacán, Pue.</p> <p>Toma la referencia de Calderón (op. cit.).</p> <p>En la porción oriental de la sierra de Atzingo, con dirección N-S.</p>	<p>Avellaneda et al (1987) Area Tehuacán, Pue.</p> <p>Toma la referencia de Calderón (op. cit.).</p> <p>Constituyendo las sierras de Miahuatepec y de Atzingo.</p>	<p>Bermúdez (1987) Area Los Reyes Metzontla, Pue.</p> <p>Toma la referencia de Calderón (op. cit.).</p> <p>En las sierras Miahuatepec y Atzingo. En las cercanías de Santiago Coatepec y San Luis Atolotitlán. En la barranca El Castillo, y Xochiltepec. En Acatitlán-San Pedro Atzumba y Atecoxco.</p>
Definición	Hacia la base, secuencia rítmica de mudstones color gris en estratos delgados, con bandas y nódulos de pedernal negro, intercalados con escasas lutitas color gris; los estratos calcáreos pasan a wackestones con bandas de pedernal que disminuyen hasta ser sólo nódulos; la estratificación se vuelve más gruesa desapareciendo el pedernal, "tipo plataforma".	Alternancia de calizas de color gris, con bandas (5-10 cm) y nódulos de pedernal negro (establece, sin mayor explicación, que el pedernal es de origen diagenético); y lutitas en estratos delgados de color gris verdoso.	En la base, conglomerados polimíticos intercalados con horizontes arcillo-calcáreos en estratos medios. Hacia la cima (Unidad 'a'), areniscas conglomeráticas y conglomerados (espesor 110 m). Pasa a la Unidad 'b' (espesor 31.5 m), con un "dominio" calcáreo, con horizontes margosos; "indicios de depósitos silíceos". La Unidad 'c' consta de calizas silicificadas color gris claro a crema, con abundantes nódulos y bandas de pedernal negro de 1 cm de espesor aprox. (espesor 210 m). En los C. Viejo y El Castillo reporta metapedernales.
Litología	Formando la sierra de Atzingo.	No reporta estructura en la Formación.	Formando el sinclinal Cerro Viejo, con orientación general NW-SE.
Estructura	En Río Calapa, sobreyace en concordancia al Barremiano (Fm. Zapotitlán). Subyace en discordancia a sedimentos del Terciario.	Sobreyace transicionalmente a la Fm. Zapotitlán. Subyace discordantemente a la Fm. Tehuacán del Terciario.	Sólo reporta contactos discordantes.
Relaciones Estratigráficas	Calizas "de tipo plataforma": pelétopodos y gasterópodos mal conservados. <i>Calcisphaerula innominata</i> , <i>E. trejoi</i> , <i>Hedbergella aff ocuta</i> , <i>Globochaete alpina</i> , <i>Stomiosphaera sphaerica</i>	Sólo reporta <i>Præcalcisphaerula</i> y algunos restos de briozoarios, algas y secciones de anélidos.	Sobreyace a la Fm. Zapotitlán y subyace a una secuencia vulcanosedimentaria.
Fósiles	Infiere por observaciones de campo y la fauna encontrada, edad Aptiano-Turoniano.	Por el microfósil encontrado, Albiano, señalando que es para la zona muestreada.	<i>Prægloboftruncana stephani</i> , <i>Bonotocardella ponce de leoni</i> , <i>B. conoidea</i> , <i>Stomiosphaera sphaerica</i> , <i>Pitthonella ovalis</i> , <i>Calcisphaerula innominata</i> , <i>Cadosina</i> sp., <i>Globochaete alpina</i> , <i>Globigerinoidea</i> sp., y <i>Bishopella gruelasae</i> ?
Edad	Toma como base el contenido de pedernal en la parte basal para decir que se depositó en facies de talud; persistiendo las condiciones, hasta cambiar de facies a un ambiente de plataforma en la zona occidental, manteniéndose esto hasta el Turoniano.	Con base en la petrología determina un ambiente de plataforma externa, asociada con desarrollos arrecifales esporádicos, con probable influencia volcánica. Explica el origen diagenético del pedernal por un enriquecimiento en iones de Fe y Mg de los sedimentos, asociado a la migración de soluciones por efecto del sepultamiento.	Por micropaleontología, Albiano Tardío-Cenomaniaco Temprano.
Ambiente de Depósito			Presenta en una tabla el ambiente, de la siguiente manera: - Subunidad 'a': ambiente litoral. - Subunidad 'b': ambiente nerítico interno para una porción de la unidad, y nerítico externo para el resto de ella. - Subunidad 'c': ambiente abisal.

CAPITULO III. ESTRATIGRAFIA

La definición de la Formación Tamaulipas Superior ha sido tradicionalmente atribuida a Muir (1936), si bien el nombre que le dio fue "Caliza Tamaulipas Superior". Sin embargo, Longoria (1975) establece una discusión muy completa acerca de ello y atribuye la definición a Belt (1925), quien documentó primero la existencia de tal formación bajo el nombre de "Caliza Tamaulipas". Asimismo, propone una nueva definición para la formación reasignándola como "Miembro Caliza Nacimiento" (p. 10).

En el presente estudio, no obstante, se continúa haciendo uso de la terminología tradicional de esta secuencia, Formación Tamaulipas Superior, considerando la dificultad que encierra el terminar con la gran difusión de dicho término, y el tratar de prácticamente iniciar con la introducción de una nomenclatura, si bien correcta, que adolece de arraigo. El autor de este trabajo piensa, aún a sabiendas de poder incurrir en un error, que estudiar correctamente cualquier aspecto de esta formación, que contribuya a ampliar el conocimiento que de ella se tenga, será más fácil que intentar deshacer un equívoco nominal el cual, pese a todo, cuenta con bastante difusión incluso a nivel internacional; siempre y cuando se ponga de manifiesto la valiosa redefinición de Longoria (*op. cit.*).

El término Formación Miahuatepec no se considerará en el presente trabajo para nominar la secuencia en estudio que aflora en la sierra de Miahuatepec. Esto debido a que Calderón (1956), al designar a esta unidad, la describe como *calizas de plataforma alternando con bandas de pedernal el cual disminuye hacia la cima, donde hay intercalaciones de margas*, y en la descripción que Pano (1978) hace de la misma unidad señala que consiste de *mudstone con bandas de pedernal alternando con turbiditas distales, que gradúa a margas donde disminuye la presencia de pedernal*, y por semejanza litológica y faunística la asigna a la Formación Tamaulipas Superior. De esta manera, las consideraciones de Pano (*op. cit.*) se acercan más a las observaciones de este autor; por tanto, la secuencia bajo estudio en la localidad Miahuatepec se considera como Formación Tamaulipas Superior y no como Formación Miahuatepec.

Por otra parte, la localidad tipo de la Formación Tamaulipas Superior fue establecida por Muir (*op. cit.*) en el cañón de La Borrega, donde la "Caliza Tamaulipas" consiste hacia la parte inferior de calizas estilolíticas de color gris claro en estratos masivos. Hacia la parte superior está constituida por calizas con estratificación delgada e irregular, con pedernal negro y en tonos claros. Menciona además la presencia de amonitas, equinodermos y braquiópodos.

Ahora bien, en el presente trabajo se considera como localidad de referencia al río Calapa, donde la formación consiste de wackestones y packstones con microfósiles, de color crema amarillento en estratos delgados y medios plegados, con abundantes horizontes y lentes de pedernal negro e intercalaciones muy delgadas de margas de color gris verdoso. La litología presenta ligeras variaciones en cuanto al espesor de los estratos de caliza y de los horizontes de pedernal.

1. LITOESTRATIGRAFIA

- Localidad Río Calapa

La sección se midió sobre el río Calapa, iniciando aproximadamente a 500 m del puente Calapa, aguas abajo, donde la Formación Tamaulipas Superior se encuentra sobreyaciendo concordantemente a lo que Velasco (comunicación personal), ha considerado como Cretácico Inferior no diferenciado; el cual está constituido por calizas de color gris claro a medio al intemperismo y gris medio al fresco, con escasos horizontes de pedernal negro. Las calizas se presentan en estratos delgados a medios y no muestran un plegamiento tan severo como el de Tamaulipas Superior.

Litológicamente ambas unidades son, en general, semejantes, si bien en la secuencia del "Cretácico Inferior" no se aprecian las intercalaciones de margas. El pedernal, por otra parte, es muy semejante a los pedernales de la Formación Tamaulipas Superior.

Inicialmente, durante el trabajo de campo se hizo la separación de estas dos secuencias con base en la escasa presencia de horizontes de pedernal en la unidad del Cretácico Inferior, la notable diferencia en el color de las calizas: las calizas de Tamaulipas

Superior son de tonos rojizos muy marcados, mientras que las de la unidad del Cretácico Inferior, como se vio párrafos arriba, son de color gris; así como el diferente grado de plegamiento que presentan ambas unidades, lo cual se infirió que debía responder a contrastes litológicos (Lámina I, 1). Posteriormente, al llevarse a cabo el estudio bioestratigráfico se observó que corresponden a edades distintas, lo que se tratará en el apartado respectivo.

La Sección Calapa termina en el km 82 de la autopista Puebla-Oaxaca, en donde se observó el último afloramiento de la Formación Tamaulipas Superior. No se encontró la cima de la formación. En ese punto (km 82), esta secuencia está en contacto discordante con un extrusivo de composición basáltica (basalto de olivino), de color verde que altera a tonos rojizos.

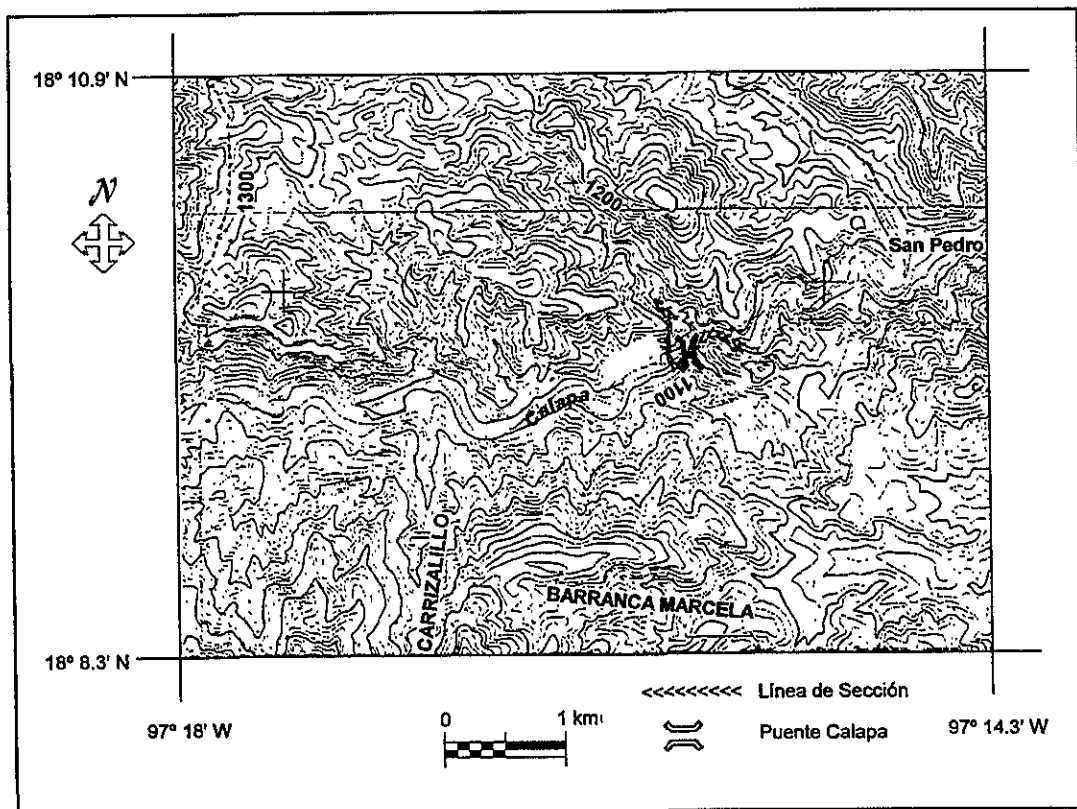


Fig. 2 Mapa de localización de la sección Río Calapa.

En la sección estratigráfica se integró la información obtenida durante un muestreo preliminar que se efectuó en la parte media-alta de la formación, cuyos análisis de microfacies y bioestratigráfico, sobre todo, permitieron determinar su posición dentro de la sección completa, muestras MG-1 a MG-4; esta última traslapándose bioestratigráficamente con la muestra T-17 del muestreo completo.

El espesor total medido de la Formación Tamaulipas Superior es de 248.40 m.

Hacia la base, la Formación Tamaulipas Superior consiste de calizas compactas, con textura mudstone a wackestone, de color crema amarillento y tonos rojizos de intemperismo y gris claro al fresco, en estratos plegados, delgados (10-15 cm) y medios (20-30 cm), con horizontes y lentes de pedernal negro que varían en espesor desde 5 cm hasta 15 cm. Algunos horizontes de pedernal tienen laminaciones arcillo-carbonatadas.

Los estratos calcáreos tienen interestratificaciones muy delgadas de margas, de menos de 1 cm de espesor, presentes en toda la secuencia. Estas intercalaciones margosas llegan a ser muy escasas (ver sección estratigráfica, p. 22), de 2-5 cm de espesor en la parte inferior, hacia la base.

Hacia la parte media hay una mayor presencia de estratos medios y se vuelven más delgados los horizontes de pedernal (5 cm aprox.).

En la parte superior los estratos vuelven a ser delgados y medios, con algunos estratos gruesos escasos; las calizas mantienen la misma textura mudstone a wackestone, con un color gris oscuro al fresco y gris amarillento a rojizo al intemperismo. Los horizontes de pedernal tienen espesores que van desde láminas hasta 15-20 cm. Las interestratificaciones de margas continúan con espesores de unos milímetros a 1 cm.

La secuencia presenta un plegamiento moderado a intenso con pliegues muy variados, simétricos y asimétricos, respondiendo a cambios litológicos.

El fracturamiento es de baja intensidad, con patrones cercanos a la perpendicularidad con respecto a la estratificación, y otros más oblicuos formando ángulos pequeños con ésta. Las fracturas están rellenas de calcita.

Los tonos rojizos que tienen las calizas se deben a la oxidación de los materiales ferrosos que éstas contienen: hematita, limonita, ilmenita y magnetita, que al ser relativamente abundantes -sobre todo la hematita-, su oxidación fue suficiente para dar esa

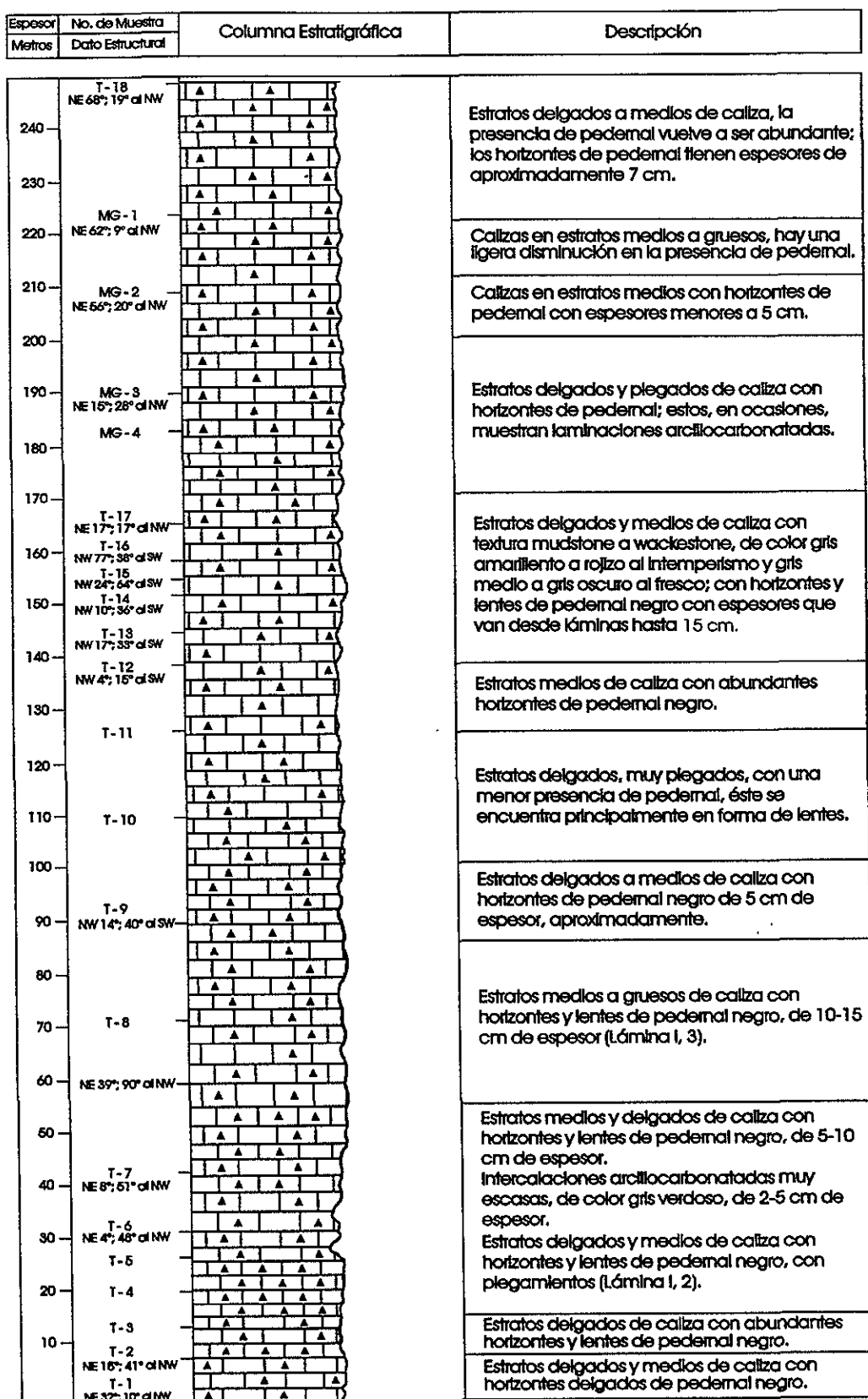


Fig. 3 Sección estratigráfica de la Formación Tamaulipas Superior.
Río Calapa.

coloración a la roca, provocando incluso costras de oxidación en la superficie de los estratos.

El pedernal tiene distintas apariencias, sin relación visible con la posición estratigráfica, mostrando superficies rugosas y porosas -como efecto de la disolución del material carbonatado (cristales y microfósiles)-, superficies relativamente lisas -donde la disolución ha sido menor-, y superficies con microrelieve producto de la disolución de las laminaciones arcillo-carbonatadas. En los pedernales de superficie lisa se puede apreciar el contenido de microfósiles (radiolarios y foraminíferos planctónicos).

Esporádicamente se encuentran estructuras de deslizamiento representadas por laminación convoluta en las laminaciones arcillo-carbonatadas internas del pedernal, sin llegar a ser slumps pues carecen del microfallamiento inverso característico de estas estructuras.

- Localidad San Bernardino Lagunas

Esta sección se midió aproximadamente a 300 m al norte de la Laguna Chica, en las afueras del poblado San Bernardino Lagunas, en la base del C. Meyultzi (ver fig. 4, p. 24), a partir del contacto discordante de la Formación Tamaulipas Superior sobreyaciendo a la Formación Chivillas Superior. Esta última consiste de intercalaciones de areniscas y lutitas, y tiene una edad Hauteriviano-Aptiano Temprano (Alzaga, 1987).

La sección se midió hasta la cima del C. Meyultzi sin haberse encontrado la cima de la Formación Tamaulipas Superior. El espesor total medido es de 377.99 m.

La Formación Tamaulipas Superior está constituida hacia la base por calizas bien compactadas, de color gris medio a gris oscuro de intemperismo y gris medio al fresco, mostrando cierta recristalización; en estratos medios a gruesos. Los afloramientos se encuentran semicubiertos, además de que la disolución ha enmascarado los límites de los estratos. Esta condición se mantiene durante los primeros 35 m de espesor de la secuencia, aproximadamente. Entonces la estratificación se vuelve más delgada. A partir de los 50 m de espesor, los estratos de caliza empiezan a mostrar intercalaciones de areniscas carbonatadas de color gris verdoso al intemperismo y gris al fresco, en estratos muy delgados, los cuales se vuelven más comunes algunos metros adelante y llegan a formar un

paquete de estratos de aproximadamente unos 7-8 m de espesor; éste no pudo definirse completamente ya que después de este paquete de areniscas la unidad está cubierta, habiéndose encontrado tan sólo algún otro afloramiento muy pequeño de calizas nuevamente en estratos medios y delgados, y las areniscas desaparecen totalmente sin volver a encontrarseles en toda la unidad.

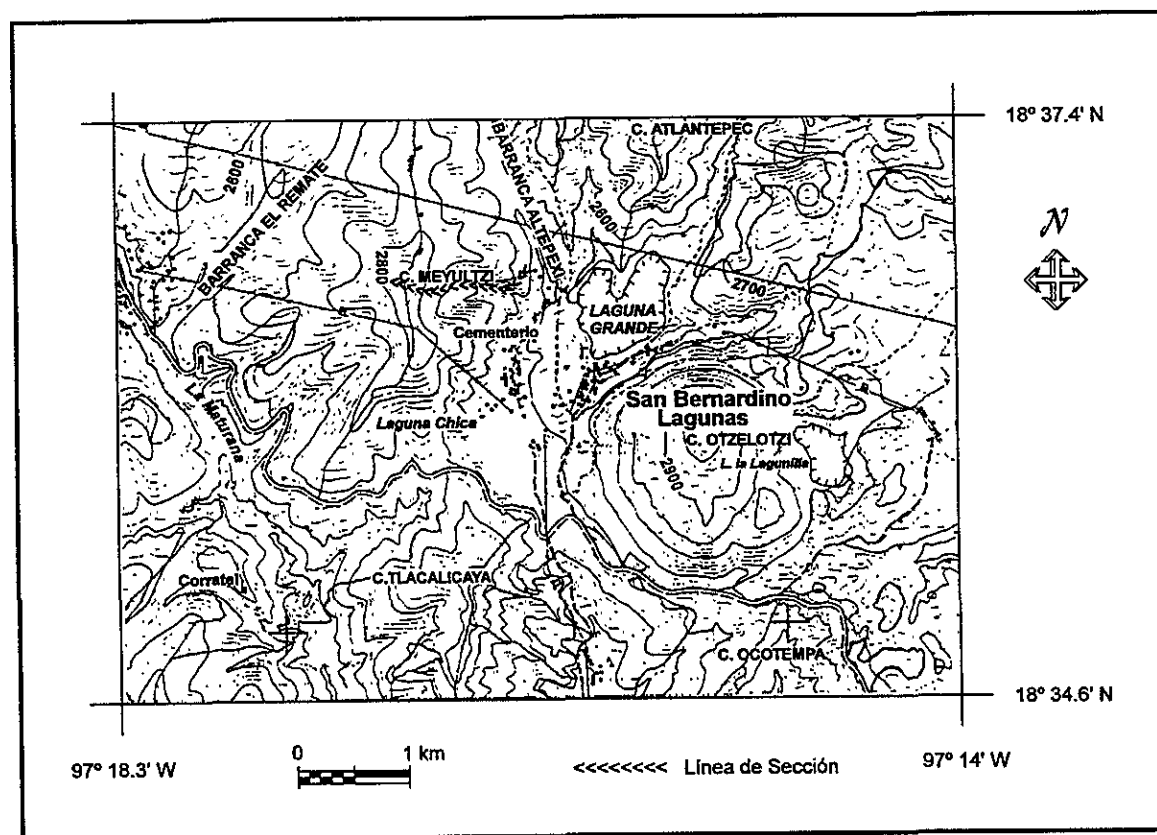


Fig. 4 Mapa de localización de la sección San Bernardino Lagunas.

A partir de los 80 m de espesor las calizas se presentan en estratos medios a gruesos y empieza a aparecer el pedernal en forma de nódulos y lentes, principalmente, de color ocre y a veces en tonos azules y blanquecinos por intemperismo; estos lentes y nódulos presentan dimensiones variables que van desde 5 cm hasta 20 cm aprox. de largo y hasta 10 cm de espesor.

El pedernal se presenta también formando horizontes aunque en estos es de color negro, o de tonos muy oscuros, semejante en ocasiones a los pedernales de la localidad Río Calapa. Estos horizontes no son muy abundantes y se encuentran distribuidos indistintamente en la secuencia (a diferencia de los pedernales en el río Calapa los cuales son principalmente horizontes, más que lentes o nódulos).

Hacia la parte superior de la unidad no se aprecian cambios fuertes, tan sólo hay una disminución en el espesor de los estratos, volviéndose delgados a medios. Sin embargo en esta porción de la formación, los afloramientos se encuentran nuevamente semicubiertos, por lo que se carece de muestras y por lo mismo de datos estructurales (ver sección estratigráfica, p. 26).

La secuencia no muestra mayor plegamiento que el propio que dio lugar al anticlinal del C. Meyultzi, arriba mencionado.

El fracturamiento es de una intensidad moderada a alta, manifiesto en fracturas que muestran diversos patrones; estas fracturas son generalmente delgadas y están rellenas de calcita blanca.

El pedernal en esta localidad es en general homogéneo, tanto en las tonalidades que muestra como en su aspecto el cual es muy liso. Estas características en el pedernal, así como en las calizas (sobre todo hacia la base), pueden evidenciar diferencias ambientales con respecto a la localidad del río Calapa.

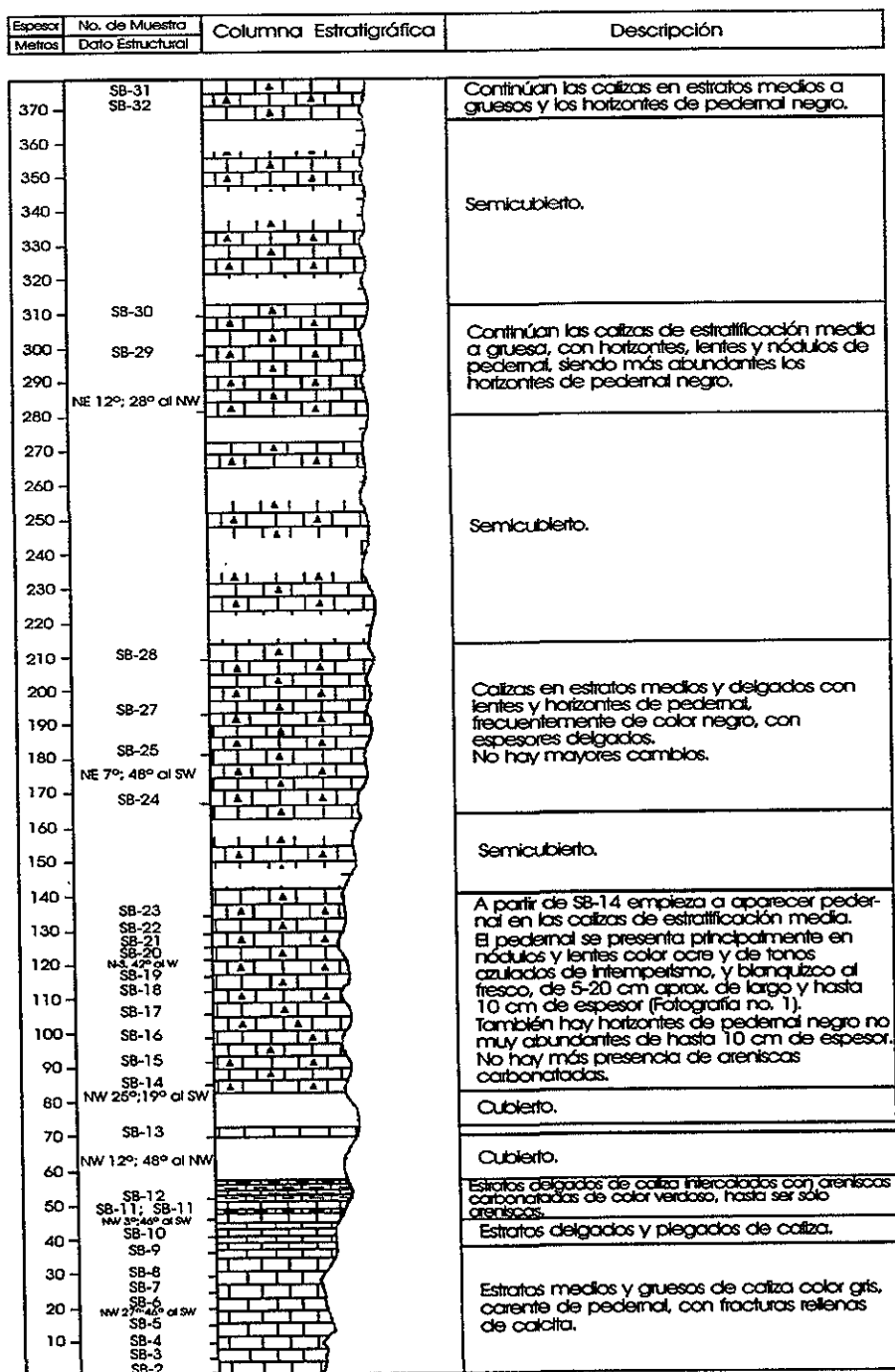


Fig. 5 Sección estratigráfica de la Formación Tamaulipas Superior. San Bernardino Lagunas (C. Meyultzi).

- Localidad sierra de Miahuatepec

Tomando en consideración que esta localidad es la única sobre la que se han publicado trabajos previos (Calderón, 1956), la litoestratigrafía no se trabajó en detalle como se hizo para las localidades ya descritas y sólo se pretendió en un principio corroborar, o en su caso proponer mayores datos a la información que de ella se conoce. Sin embargo, el presente estudio no coincide del todo con el realizado por Calderón (*op. cit.*); así, los resultados obtenidos aquí se irán presentando de acuerdo con el tópico correspondiente a cada capítulo.

La sección Miahuatepec se midió en la ladera occidental de la Sierra de Miahuatepec, a la altura del poblado Las Ventas (ver fig. 6, p. 28), iniciando a partir del contacto de la Formación Tamaulipas Superior, que sobreyace por fallamiento, a la Formación Zapotitlán la cual consiste de lutitas calcáreas con intercalaciones de margas, areniscas y bancos de caliza, de edad Barremiano (Calderón, *op. cit.*).

La sección se midió hasta la cima del C. Miahuatepec, sin haberse encontrado el contacto superior. El espesor estimado es de 216.81 m.

Hacia la base, la formación está constituida por calcarenitas recristalizadas de color gris medio a gris oscuro al intemperismo y gris medio al fresco, en estratos gruesos de hasta 85 cm de espesor; las calizas contienen abundantes fragmentos de rudistas y otros microfósiles en una matriz micrítica; las partículas están mal clasificadas. Hay fracturas relativamente abundantes rellenas de sílice color blanco al fresco y ocre al intemperismo.

Estas calizas tienen la textura propia de depósitos de alta energía. Es evidente la ausencia de pedernal.

En la parte media-baja se encuentran las mismas calcarenitas pero presentan ahora horizontes plegados y laminaciones de pedernal muy abundantes, no obstante el pedernal es de color ocre.

En la parte media de la unidad se tienen bloques de calizas con rudistas silicificados y horizontes fosilíferos (incluidos los rudistas mencionados), paralelos a la estratificación.

Posteriormente las calizas se vuelven laminadas, en estratos delgados de 5-15 cm de espesor, con horizontes de pedernal de tonos azulados al fresco y negro al intemperismo, de 3-5 cm de espesor, y lentes de hasta 20 cm de largo y 10 cm de ancho. En algunos estratos

los horizontes de pedernal están plegados, con una orientación de los esfuerzos N-S. De esta manera, las características de estas calizas sugieren que hubo condiciones más propias de aguas profundas con la consiguiente disminución en la energía, evidenciado tanto por la presencia del pedernal como por el carácter laminado de las calizas.

Hacia la parte media-superior el depósito volvió a tener condiciones de alta energía, el cambio de facies se refleja en la presencia de aquellos bloques de calizas con rudistas silicificados y horizontes fosilíferos, mencionados párrafos arriba.

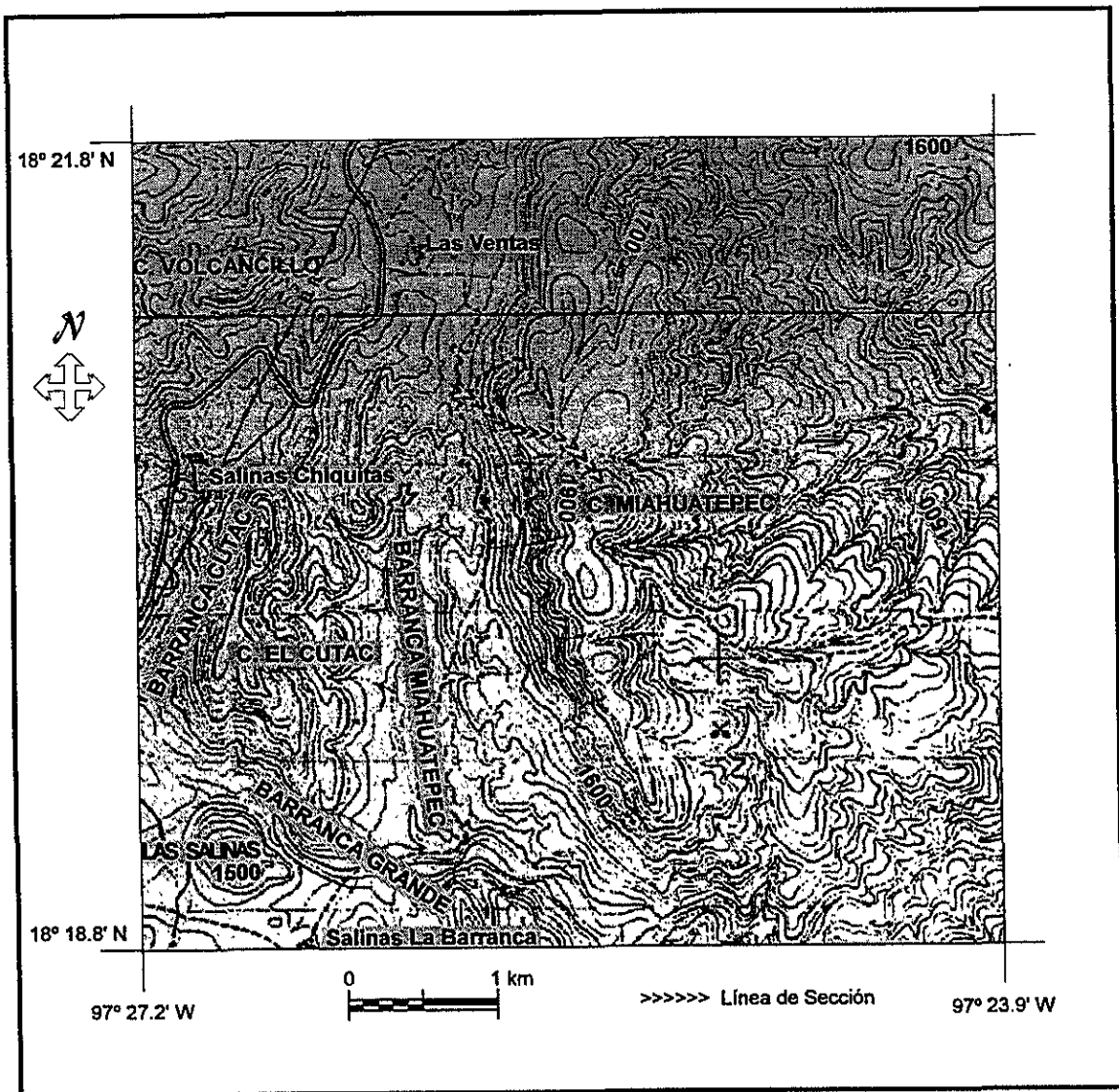


Fig. 6 Mapa de localización de la sección Miahuatepec.

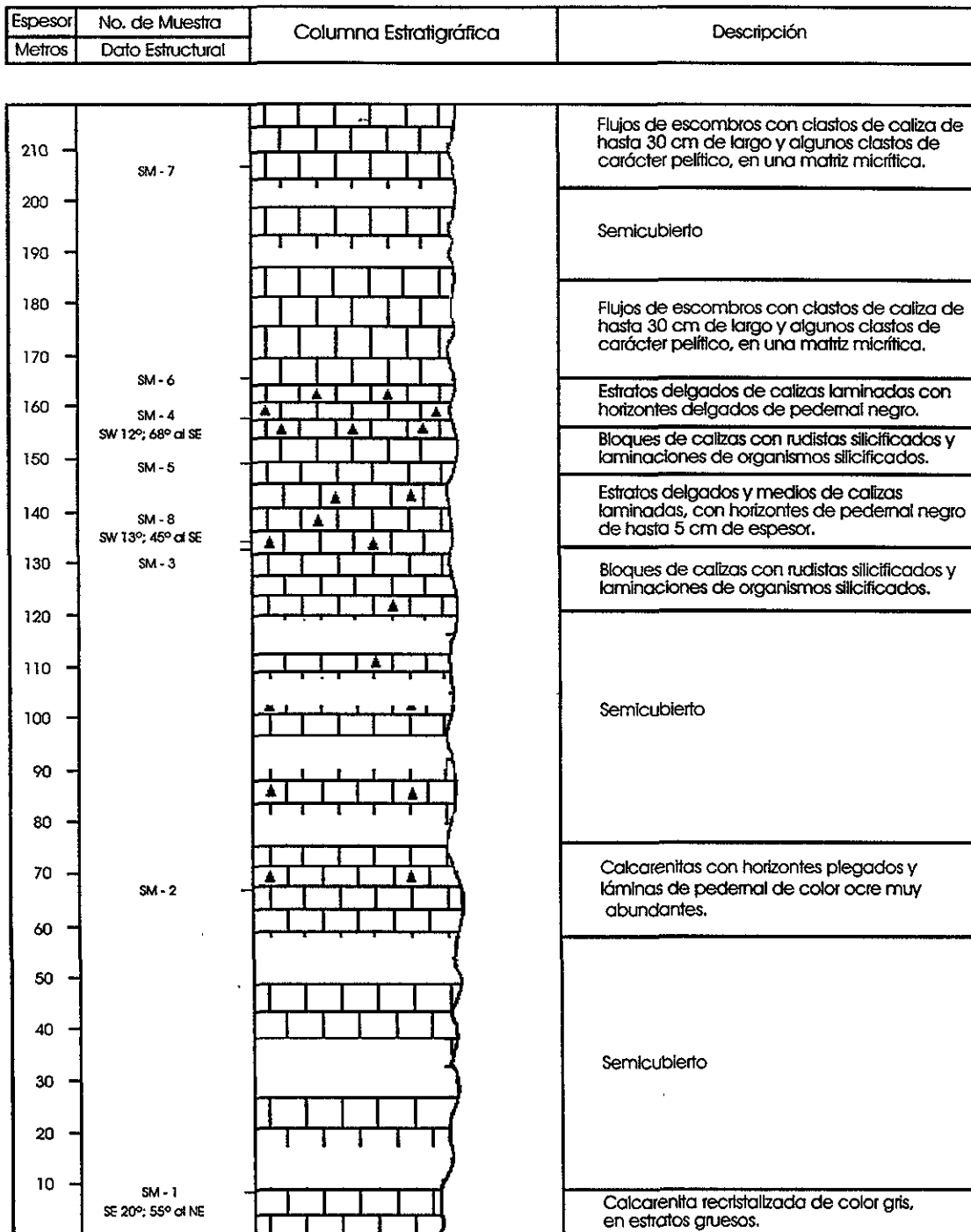


Fig. 7 Sección estratigráfica de la Formación Tamaulipas Superior. Sierra de Miahuatepec.

En la parte superior (en la cima del C. Miahuatepec), se encontró finalmente un depósito turbidítico, lo que resulta nuevamente en un cambio de facies; en una matriz micrítica recristalizada se observan abundantes clastos muy mal clasificados de calizas de tonos grises medios a oscuros, los clastos más grandes son de hasta 20-30 cm de largo y unos 10 cm de ancho, subredondeados a subangulosos en general y dispuestos sin mostrar arreglo alguno (Lámina I, 4); entre estos hay clastos de carácter pelítico (ver fig. 7, p. 26).

A. MICROFACIES

La litología de la Formación Tamaulipas Superior consiste de calizas con horizontes y lentes de pedernal; de tal manera, el análisis de microfacies se presentará considerando a grosso modo una facies carbonatada y una facies pedernalosa o de pedernal por separado, aún cuando algunas de las muestras contienen ambas litologías. Esto con el fin de hacer más accesible la información y de lectura más fácil.

En el caso de la facies de pedernal o pedernalosa es necesario hacer algunas precisiones. Durante el análisis de las microfacies se encontró que esta facies contiene diferentes clases de pedernal que se pueden distinguir claramente como: pedernal microcristalino y criptocristalino; más aún, el pedernal microcristalino presenta dos tipos de cristalinidad: fina y gruesa.

Ante esto, mediante comunicación personal con Dávila (director de esta tesis) se tomó conciencia de que, al no existir una nomenclatura adecuada para pedernales -como en el caso de calizas, por ejemplo-, y al considerar de importancia el hacer tal diferenciación, se utilizará el término microfacies en un sentido meramente descriptivo. Esto es, se establece que la facies de pedernal consiste de las siguientes microfacies:

- Microfacies Pedernalosa Microcristalina Normal: se considera como tal al pedernal con un rango de cristalinidad semejante al que comúnmente se aprecia en los pedernales microcristalinos.
- Microfacies Pedernalosa Microcristalina Fina: se refiere a una notoria disminución en la cristalinidad, volviéndose muy fina pero sin llegar a ser criptocristalina.
- Microfacies Pedernalosa Microcristalina Gruesa: denota un claro aumento en la cristalinidad que se considera común del pedernal microcristalino (Lámina III, 4).

- Microfacies Pedernalosa Criptocrystalina: se refiere al pedernal cuya cristalinidad no es apreciable petrográficamente, y que se confirmó mediante un análisis de Fluorescencia de Rayos X por Dispersión de Energías (Lámina III, 1; VI, 1).

Estas diferenciaciones, gratuitas a primera vista, son de utilidad descriptiva como se verá en este capítulo.

Por lo demás, en la caracterización de las microfacies se hablará asimismo de pedernal microcristalino (fino y grueso) y criptocrystalino como clases de pedernales.

- Microfacies de la sección Río Calapa

• *Facies carbonatada*

En esta localidad la formación está constituida por biomicritas con texturas wackestone-packstone y packstone, con wackestone ocasionales. La microfauna dominante es de foraminíferos planctónicos, generalmente preservados sólo como cámaras sueltas, y radiolarios reemplazados por micrita, en orden de abundancia excepto en las muestras T-1 y T-12B.

Los radiolarios son principalmente espumeláridos pero es frecuente encontrar nasseláridos (Lámina II, 1-2).

A pesar de que los foraminíferos son principalmente planctónicos, en las muestras T-11A, T-12B, T-13, T-13A, T-17A y T-18A hay un contenido variable de foraminíferos bentónicos (fragmentos de miliólidos y cámaras sueltas); así, es notorio que los foraminíferos bentónicos aparecen a partir de la parte media de la secuencia (ver sección estratigráfica, p. 22).

Es de notar, por otro lado, la presencia de ostrácodos (T-1, T-12B, T-13, T-13A y T-18A), fragmentos de equinodermos (T-11A, T-13, T-13A y T-17A), fragmentos de moluscos -pelecípodos (entre ellos rudistas)- (T-1, T-12B y T-13) y calcisferas (T-12B, T-13 y T-13A); aun cuando todas estas partículas nunca llegan a ser más que escasas, en relación con el resto de los aloquímicos que constituyen a las biomicritas. En las muestras T-9A y T-17A hay peloides los cuales llegan a ser frecuentes. Algunas muestras además, tienen una muy escasa presencia de partículas fosfatadas.

Las biomicritas frecuentemente muestran microestructuras bien desarrolladas como laminaciones de peloides (T-1, T-17A y T-18A); laminaciones fosilíferas, a saber, de ostrácodos (T-1 y T-18A), de foraminíferos bentónicos (T-11A), las cuales (ambas) a veces coinciden con las laminaciones de peloides, y de pelecípodos (T-18A); láminas y lentes con un menor contenido faunístico (T-1); microlentes de pedernal microcristalino (T-13A), microlentes de pedernal criptocristalino (T-18A) y microestructuras de carga (T-18A).

Se observan, como efecto de presión-solución, microestilolitas escasas impregnadas de hidrocarburos en T-1 y T-11A, aunque en ocasiones son frecuentes (T-13A) y aun abundantes (T-13).

Por su parte, el fracturamiento es moderado, raramente manifestándose con intensidad (T-12B y T-13). Se aprecian dos eventos, ambos rellenos de calcita.

- *Facies de pedernal*

Esta facies está constituida por pedernales microcristalinos con laminaciones y disseminaciones de pedernal criptocristalino de color pardo.

El contenido fósil es moderado a alto (20-40%) y consiste en radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados; la relación radiolarios/foraminíferos es variable: los radiolarios son más abundantes que los foraminíferos excepto en las muestras T-10, T-12A, T-15 y T-18 (es decir a partir de la parte media de la unidad, ver sección estratigráfica, p. 22), en donde es mayor la abundancia de foraminíferos, y en T-3, T-4 y T-7A en las cuales la relación radiolarios/foraminíferos es aproximadamente la misma.

Los foraminíferos (comunes como cámaras sueltas), son globigerínidos. Frecuentemente, los foraminíferos (más que los radiolarios) están rellenos de pedernal criptocristalino (T-2, T-4, T-5, T-9, T-14, T-17 y T-18).

Se pueden apreciar seis tipos de preservación en los microfósiles, indistintamente de que sean radiolarios o foraminíferos (ver Capítulo V. Diagénesis).

En esta localidad es muy notoria la presencia de pedernal criptocristalino en esta facies, lo que le da un color pardo-rojizo muy marcado al pedernal (en muestra de mano son de color negro). Este pedernal criptocristalino se considera como "impurezas" en el pedernal microcristalino, y se manifiesta en forma de disseminaciones, laminaciones y

laminillas con una forma semilenticular (ver Capítulo V. Diagénesis). Tales condiciones están presentes en toda esta facies.

Los pedernales en ocasiones son laminados, sobre todo hacia la parte baja (T-4, laminaciones fosilíferas escasas; y T-5, laminaciones de pedernal criptocristalino), y en la parte alta de la secuencia (T-15 y T-18, laminaciones de pedernal criptocristalino).

Los pedernales presentan también otras microestructuras como laminaciones de pedernal de cristalinidad más fina (T-2), laminaciones de pedernal de mayor pureza (T-3, T-4, T-10), y microestructuras de carga (T-4, T-8, T-17, T-18)¹.

Se aprecian abundantes microestilolitas, generalmente asociadas a las laminaciones de pedernal criptocristalino.

El fracturamiento en los pedernales es moderado, solamente en las muestras T-3, T-8, T-9, T-11 y T-14 llega a ser intenso. El relleno de las fracturas es de calcita, parcialmente afectada por los reemplazos sufridos en esta facies (ver Capítulo V).

- Microfacies de la sección San Bernardino Lagunas

• *Facies carbonatada*

En esta localidad la Formación Tamaulipas Superior está constituida por biomicritas recristalizadas en mayor o menor grado. Sin embargo, y a pesar de esta recristalización, es posible apreciar la textura original;

¹ **Tabla 3:** R: raro (1-4%), E: escaso (5-9%), F: frecuente (10-20%), C: común (21-30%), A: abundante (31-50%), M: muy abundante (>50%). Las muestras marcadas con * corresponden a pedernales (los números de muestra repetidos indican que la muestra consiste de una parte carbonatada y una parte de pedernal). **ALOQUIM:** aloquímicos. **FORAMIN:** foraminíferos. **Fm Planc:** foraminíferos planctónicos. **Fm Bento:** foraminíferos bentónicos. **RADIOLAR:** radiolarios. **Rd Micri:** radiolarios reemplazados por micrita. **Equinode:** equinodermos. **Ostracod:** ostrácodos. **Calcisf:** calcisferas. **ORTOQUI:** ortoquímicos. **Microesp:** microespatita. **Ped Mic:** pedernal microcristalino. **Ped Crip:** pedernal criptocristalino. **Textura:** M: mudstone, W: wackestone, P: packstone, G: grainstone. **Dis Hem:** diseminaciones de hematita. **Lam Fos:** laminaciones fosilíferas. **Lam PedF:** laminaciones de pedernal de cristalinidad muy fina. **Lam Carb:** laminaciones carbonatadas. **Mlen Car:** microlentes carbonatados. **Mlen Ped:** microlentes de pedernal. **MEst Car:** microestructuras de carga. **S M F T:** microfacies estándar de Wilson. **Fae Zona:** zonas o cinturones de facies de Wilson. **MF Peder:** microfacies de pedernales (C: microfacies criptocristalina; Cl: microfacies criptocristalina laminada; M: microfacies microcristalina). **CLASIFIC:** clasificación (B: biomicrita, Pm: pedernal microcristalino).

Tabla 3. Microfacies de la localidad Río Calapa (Resumen).

No. Muestra	A	L	O	S	R	M	D	A	R	R	F	O	M	C	P	O	M	M	P	P	F	D	L	I	L	M	M	M	S	F	M	C	
*T-18	A	M	M	M	F	A									M				M	C					X	X		X			Cl	Pm	
T-18A	A	M	M	M	F	A	F	E	E	R					M	M				W	P	X			X		X	2	III		B		
*MG-1	A	M	F	M		M									M				M	C							X			Cl	Pm		
MG-2	A	M	M	M		C	M	R	R	E	R				M	M	F			W	P	X						3	III		B		
*MG-2A	A	M	A	M		M									M				M	C				X						Cl	Pm		
*MG-3	C	M	A	M		M									M				M	C										Cl	Pm		
MG-3A	A	M	M	M	E	A	M	R	R	R	R	F	M	M	F					P	G	X						3,2	III		B		
MG-3B	A	M	A	M	R	M	M	R	R	R	R		M	M	F					W	P	X						3	III		B		
MG-4	A	M	A	F	M	A	M	R	F	E	R	F	M	M	C					P	G	X						2	III		B		
MG-4A	A	M	A	M		C	M	E	E	F	R		M	M	F					W	P	X						3	III		B		
T-17A	A	M	M	M	F	C	E	E		R					M	M						P	X						3	III		B	
*T-17	A	M	A	M		M									M				M	C											C	Pm	
*T-16	A	M	A	M		M									M				M	C											C	Pm	
*T-15	C	M	M	M		C									M				M	C											Cl	Pm	
*T-14	A	M	C	M		A									M				M	C											C	Pm	
T-13	A	M	M	M	R	C	M	R	R		R		A	M								P	X						3	III		B	
T-13A	A	M	M	M	R	C	M	E	R		E		M	M								P	X			X			3	III		B	
T-12B	A	M	C	M	R	M	M	R	R	R	E		A	M								P	X						3	III		B	
*T-12A	F	M	M	M		C									M				M	C											C	Pm	
T-11A	A	M	M	M	F	C	M	E	R						M	M				W	P	X							3	III		B	
*T-11	C	M	A	M		M									M				M	C											C	Pm	
*T-10	C	M	M	M		C									M				M	C											C	Pm	
*T-9	C	M	A	M		M									M				M	C											C	Pm	
T-9A	A	M	M	M		C	M	R							M	M	F			W	P	X							3	I		B	
*T-8	A	M	A	M		M									M				M	C											C	Pm	
*T-7A	C	M	A	M		A									M				M	C											C	Pm	
*T-7	F	M	F	M		M									M				M	C					X						C	Pm	
*T-6	A	M	M	M		A									M				C	C				X	X		X	X			M	C	Pm
*T-5	C	M	F	M		M									M				M	C						X					C	Pm	
*T-4	A	M	A	M		A									M				M	C					X	X		X			Cl	Pm	
*T-3	A	M	A	M		A									M				M	C											C	Pm	
*T-2	C	M	A	M		M									M				M	C				X		X					C	Pm	
T-1	C	M	A	M		A	M	E	C	R					M	M	E			W	P	X	X						3	III		B	

fundamentalmente son wackestones aunque es frecuente encontrar texturas wackestone-packstone y packstone, excepcionalmente ésta llega a ser grainstone (muestra SB-20).

La microfauna dominante son radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, generalmente cámaras sueltas; la proporción radiolarios/foraminíferos es variable pero en la mayoría de las muestras son más abundantes los radiolarios; estos se encuentran en ocasiones recristalizados resultando difícil apreciar tal preservación. Otra modalidad observada en la preservación de los radiolarios es aquella en la que la concha original sólo está recristalizada, reconocibles tan sólo por su forma general (conos, "esferas", elipsoides), estos empero, resultan escasos en las muestras. Por otro lado, la proporción espumeláridos/naseláridos es muy variable, siendo más abundantes los primeros.

Los foraminíferos son esencialmente planctónicos, aún y cuando en las láminas SB-3, SB-4, SB-4A y SB-11 hay también bentónicos (miliólidos, rotálidos), incluso en las tres primeras son más abundantes que los foraminíferos planctónicos. Estos últimos, por su parte, se conservan solamente como relictos lo cual es más notorio hacia la parte baja de la unidad.

Por otro, lado es común encontrar a todo lo largo de la sección, en orden de abundancia, fragmentos de moluscos (pelecípodos -rudistas entre ellos- y ocasionalmente gasterópodos), fragmentos de equinodermos y de ostrácodos; sin embargo, siempre son escasos en las muestras. Algunas muestras contienen escasos intraclastos (SB-11, SB-14 y SB-25) y peloides, así como partículas fosfatadas, y parches de hidrocarburos (SB-4A y SB-31A).

En esta localidad la formación presenta varias diferencias con respecto a la localidad Río Calapa, a saber: el grado de recristalización en la micrita, una mayor presencia de organismos exógenos (moluscos, equinodermos, etc.), la edad (que se tratará en otro capítulo), la preservación de los microfósiles (radiolarios y foraminíferos) como fantasmas, etc. Pero una diferencia primordial con aquella localidad es la presencia, abundante por lo demás, de partículas de cuarzo detrítico en las biomicritas; estas partículas se concentran sobre todo hacia la base de la formación (desde la muestra SB-2 hasta la muestra SB-11), además de ser esporádicas en la parte media-baja (muestras SB-17, SB-21), y aún en la

parte más alta (SB-31A). Las características de estas partículas son variables, su tamaño va desde un tamaño semejante al de la microespatita hasta ser un poco más grandes que los foraminíferos promedio; son subredondeadas a angulosas y con formas más o menos cónicas, semiesféricas, alargadas y equidimensionales irregulares (algunas de ellas podrían ser radiolarios). Además de estas partículas hay pequeños cristales de cuarzo autigénico.

Asimismo, es frecuente encontrar cambios de microfacies en las muestras, en forma de horizontes muy delgados o lentes; estos cambios se reflejan de diversas maneras, ya sea como el paso de una textura a otra (wackestone a packstone, packstone a grainstone, por ejemplo), variaciones en el contenido faunístico (por la presencia de moluscos, equinodermos, etc.), y presencia (variable) de partículas de cuarzo detrítico; variaciones que se observan en las muestras SB-3, SB-4, SB-4A, SB-5, SB-10, SB-11, SB-14, SB-17, SB-19, SB-20 y SB-27.

Un caso aparte es el cambio de facies tan brusco que se observan hacia la parte media-baja (muestra SB-12), claramente representado en la sección estratigráfica (fig. 5, p. 26). Las calizas pasan a unas areniscas calcáreas (Lámina II, 6) cuyos principales constituyentes son cuarzo y feldespato potásico (ortoclasa), con menores proporciones de muscovita, plagioclasa y fragmentos muy escasos de pedernal, así como algunos líticos provenientes posiblemente de las areniscas rojizas de la Formación Chivillas Superior, con espatita como cementante; hacia la base de la muestra (SB-12) hay raros fragmentos de equinodermos. La muestra presenta gradación normal, con líticos redondeados hasta angulosos (algunos cuarzoes, plagioclasa, muscovita). La clasificación de esta arenisca es mala hacia la base y buena en la cima donde el cuarzo se vuelve prácticamente el único constituyente. Las demás partículas frecuentemente están alteradas por sericitización y un poco reemplazadas (calcita por cuarzo). Son evidentes los efectos de presión-solución intragranular e incluso microestilolitas con impregnaciones de hidrocarburos.

Algunas muestras presentan una diversidad de microestructuras tales como laminaciones de pedernal microcristalino (SB-20, SB-27, SB-28), laminaciones fosilíferas (SB-20, SB-23), microlentes de pedernal microcristalino (SB-23) y microestructuras de carga (SB-17, SB-21, SB-25 y SB-27).

Es común encontrar microestilolitas impregnadas de hidrocarburos. El fracturamiento, por otro lado, es intenso, se aprecian tres eventos a pesar de que no siempre fue posible establecer esto. Todas las fracturas están rellenas de calcita².

• *Facies de pedernal*

Esta facies está constituida por pedernales microcristalinos con escasa presencia de pedernal criptocristalino, con un contenido moderado de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados (generalmente como cámaras sueltas), de los cuales son siempre más abundantes los radiolarios a excepción de la muestra SB-24. Ocasionalmente los microfósiles están rellenos de pedernal criptocristalino (SB-17, SB-20A, SB-22).

Una diferencia muy marcada con respecto a los pedernales de la localidad Río Calapa es la escasa presencia de pedernal criptocristalino, lo cual es evidente en la carencia de los tonos pardusco-rojizos en lámina delgada; de hecho los pedernales de San Bernardino son prácticamente incoloros (luz natural) inhibiendo así la posibilidad de determinar, en muchas de las muestras, el contenido faunístico. Sin embargo hay algunos

² **Tabla 4:** R: raro (1-4%), E: escaso (5-9%), F: frecuente (10-20%), C: común (21-30%), A: abundante (31-50%), M: muy abundante (>50%). Las muestras marcadas con * corresponden a pedernales (los números de muestra repetidos indican que la muestra consiste de una parte carbonatada y una parte de pedernal). **ALOQUI:** aloquímicos. **Fósil:** fósiles. **FORAM:** foraminíferos. **Planct:** foraminíferos planctónicos. **Benton:** foraminíferos bentónicos. **RADIOL:** radiolarios. **Rd Mic:** radiolarios reemplazados por micrita. **Equino:** equinodermos. **Ostrac:** ostrácodos. **Molusc:** moluscos. **Calcis:** calcisferas. **Peloid:** peloides. **Par Qz:** partículas de cuarzo. **ORTOQ:** ortoquímicos. **Mierit:** micrita. **Micesp:** microespatita. **Pd Mic:** pedernal microcristalino. **Pd Cri:** pedernal criptocristalino. **TEXTUR:** textura (M: mudstone, W: wackestone, P: packstone, G: grainstone). **Lm Fos:** laminaciones fosilíferas. **Lm PdF:** laminaciones de pedernal de cristalinidad muy fina. **Lm PdG:** laminaciones de pedernal de cristalinidad más gruesa. **Lm Car:** laminaciones carbonatadas. **Mic Pd:** microlentes de pedernal. **ME Car:** microestructuras de carga. **S MF T:** microfacies estándar de Wilson. **Fac Zo:** zonas o cinturones de facies de Wilson. **MF Pd:** microfacies de pedernales (C: microfacies criptocristalina; Cl: microfacies criptocristalina laminada; M: microfacies microcristalina). **CLASIF:** clasificación (B: biomicrita; Pm: pedernal microcristalino).

Tabla 4. Microfacies de la localidad San Bernardino Lagunas (Resumen).

No. Muestra	A	F	C	P	B	R	R	E	O	M	C	P	P	O	M	M	P	P	F	F	L	L	L	M	M	S	E	N	O	
	L	O	R	A	D	O	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	
	O	A	M	I	O	M	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	I	M	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
SB-31A	C	M	M	M	E	A	E	F		E	R		R	M	M	F			W	P						3,2	III	B		
*SB-31	C	M	A	M		A							M			M	F						X				Pc	Pm		
*SB-32	X	X	X	X		X							M			X	X				X		X				M	Pm		
SB-30	A	M	A	M	R	M	A	E	E	E	E		M	M	F			W	P			X			3	III	B			
*SB-29	A	M	A	M		M							M			M	F				X			X			M	Pm		
SB-29	A	M	M	M		A	M	E	R		R		A	M	F			P					X		3	III	B			
SB-28	A	M	M	M		A	R	R	R	R			M	M	C			W			X		X		3	III	B			
SB-27	C	M	A	M		M	F	E		R	E		M	F	M			W				X	X	X	3	III	B			
SB-25	A	M	A	M	R	M	F	E	E	R			M	M	F			W	P		X	X		X	X	3	III	B		
*SB-24	C	M	M	M		A							M			M	A										Pc	Pm		
*SB23A	A	M	F	M		M							M			M	R				X	X					M	Pm		
SB-23	C	M	M	M		M	M	E	E	R			M	M	E			W	X						3	III	B			
*SB-22	A	M	C	M	R	M					R		M			M	E					X		X			M	Pm		
SB-21	C	M	M	M		A	R	F				R	M	A	M			W			X			X	3	III	B			
*SB20A	X	X	X	X		X							X			M				X				X			M	Pm		
SB-20	A	M	M	M	E	A	E	F	E		E		A	M	F			P	G		X		X		3,2	III	B			
SB-19	A	M	M	M		A	R	F				E	M	A	M			P							3	III	B			
*SB-18	X	X	X	X		X							M			M								X			M	Pm		
SB-18	X	X	X	X		X	E					F												X	?	?		B		
SB-17	C	M	A	M		M	E	F		R	R		M	M	F			W			X				3	III	B			
*SB-17	A	M	C	M		M							M			M	A										C	Pm		
*SB-16	X	X	X	X		X							X			M											M	Pm		
SB-16	C	M	F	M		M	M	R		E			M	A	M			W							3	III	B			
*SB-15	X	X	X	X		X							X			M	E										M	Pm		
SB-15	F	M	F	M		M	M	R	R	E			M	M	F			W						X	3	III	B			
SB-14	C	M	A	M		M	F	E	E	E			M	M	F			W	P						3,4	III	B			
SB-13	C	M	A	M		M	?	R					A	M	M	A			W						3	III	B			
?? SB-12																														
SB-11	A	A	M	M	A	C		R		R		A	A	M		M				G						2-4	III	B		
SB-10	F	M	A	M		M	F	E	R	R		R	F	M	M	F			W							3	III	B		
SB-9	C	M	A	M		M		R	R				A	M	C	M			W							3	III	B		
SB-8A	A	M	A	M		M	E	E		R			A	M	A	A			W	P						3	III	B		
SB-8	C	M	C	M		M	E	E		R			C	M	M	F			W							3	III	B		
SB-7	C	M	C	M		M	E	E		R			C	M	A	A			W							3	I	B		
SB-6A	F	M	M	M		C	E	E					A	M	F	M			W							3	I	B		
SB-6	F	M	M	M		C	E	E					A	M	M	F			W							3	I	B		
SB-5	A	M	A	M	R	M	E	R	R	R			F	M	M	A			W							3	I	B		
SB-4A	F	M	F	M	F	M	E	R	R	R		E	C	M	M	C			W	P						3	III	B		
SB-4	C	M	F	A	A	M	M	E		R		F	A	M	M	F			P							2	III	B		
SB-3	A	M	C	A	M	M	A	E		E		F	F	M	M	F			W	P						3	III	B		
SB-2	C	M	M	M		F	M	E					E	M	M	F			W							3	I	B		

pedernales que sí tienen un bajo contenido de este pedernal criptocristalino (SB-22, SB-23A, SB-24).

En esta microfacies pedernalosa se observan microestructuras tales como laminaciones escasas de pedernal criptocristalino (SB-17, SB-20A, SB-23A, SB-24), laminaciones y microlentes de pedernal microcristalino de cristalinidad muy fina (SB-23A, SB-25; y SB-20A, SB-20, respectivamente), y rara vez microlentes micríticos (SB-29A).

Al igual que en la localidad Río Calapa, se observaron varios tipos de preservación en microfósiles (ver Capítulo V. *Diagénesis*).

Las microestilolitas son comunes, empero sólo se aprecian en aquellas muestras que contienen "impurezas" (SB-22; SB-23A y SB-24) o diseminaciones (SB-16, SB-17) de pedernal criptocristalino.

El fracturamiento es intenso, el relleno de las fracturas es de calcita, parcialmente afectada por los reemplazamientos acaecidos en esta facies pedernalosa.

- Microfacies de la sección sierra de Miahuatepec

• *Facies carbonatada*

En esta localidad se pueden diferenciar dos conjuntos de microfacies a *grosso modo*, un grupo de biomicritas (SM-2, SM-4, SM-6 y SM-8A), en el que se incluye una "pelmicrita"³ (SM-1), y otro consistente en depósitos turbidíticos (SM-3, SM-5 y SM-7). Para mayor facilidad al caracterizarlos, en el texto se especificará a cuál de estos conjuntos se hace referencia.

Las biomicritas se encuentran recristalizadas, en mayor grado que la facies correspondiente de la localidad San Bernardino Lagunas, aunque es posible apreciar la textura wackestone y packstone que conservan. En el caso de la "pelmicrita" la matriz fue totalmente recristalizada a espatita.

La microfauna dominante son foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, en orden de abundancia.

³ En realidad no se trata de una pelmicrita en el sentido de Folk; es una micrita cuyo principal constituyente son peloides, pero al carecer de un término adecuado, se optó por utilizar el de pelmicrita y hacer esta aclaración.

Los foraminíferos planctónicos generalmente están reducidos a cámaras sueltas. En la muestra SM-1, por otro lado, son más abundantes los foraminíferos bentónicos que los planctónicos. Estos foraminíferos bentónicos son mayoritariamente miliólidos, rotálidos.

Los radiolarios están un tanto recristalizados. Principalmente se trata de espumeláridos, los naseláridos son tan sólo frecuentes.

Es notoria, además, la presencia de fragmentos de equinodermos (SM-1, SM-4, SM-6 y SM-8A), de ostrácodos (SM-1, SM-2, SM-4 y SM-8A), de calcisferas (SM-1 y SM-4), y de moluscos - pelecípodos (rudistas) - (SM-1 y SM-8A), además de peloides (SM-2 y SM-8A), aun y cuando todas estas partículas no llegan a ser más que escasas a frecuentes en las muestras.

En la "pelmicrita" se observaron frecuentes ooides, escasos pelets, raros fragmentos de braquiópodos; fragmentos de espículas de esponja (?), de algas (?), de briozoarios (?), y de corales (?); así como escasas partículas de cuarzo (semejantes a las que se observaron en la localidad San Bernardino Lagunas) y aún cuarzo autigénico.

En cuanto a las microfacies de depósitos turbidíticos la matriz micrítica se observa igualmente recristalizada, en ocasiones casi totalmente (SM-5) lo cual no permitió determinar el tipo y abundancia de sus constituyentes aloquímicos. La microfauna dominante consiste en fragmentos de equinodermos y fragmentos de moluscos, específicamente rudistas y algunos pelecípodos, con un contenido menor de foraminíferos planctónicos (cámaras sueltas) y bentónicos (generalmente fragmentos de biseriados, rotálidos y de miliólidos (SM-3 y SM-7)), radiolarios reemplazados por micrita recristalizados; asimismo hay raras calcisferas (SM-3), fragmentos de algas (?), de corales (?), de briozoarios (?) (SM-7) y de braquiópodos (SM-3). En SM-3 y SM-7 hay además frecuentes peloides, ooides, intraclastos, y litoclastos biomicríticos y de pedernal, así como cuarzo autigénico (SM-3), e impregnaciones de hidrocarburos relleno la porosidad intercrystalina en parches (SM-7).

En las biomicritas se llegan a observar algunos cambios de microfacies, usualmente en forma de laminaciones, ya sea de peloides (SM-2), o fosilíferas -ostrácodos- (SM-2 y SM-4). Se aprecian cambios texturales frecuentes -wackestone a packstone, por ejemplo-

(SM-4, SM-6 y SM-8A). Así como ocasionales microestructuras de carga (SM-2 y SM-8A).

Ambos grupos de microfacies: biomicritas y depósitos turbidíticos, presentan una dolomitización parcial, exhibiendo escasas microestilolitas con impregnaciones de hidrocarburos en SM-2, SM-3, SM-4, SM-5 y SM-7.

El fracturamiento es de baja a moderada intensidad, sólo en SM-3 y SM-6 es intenso. Se aprecian tres eventos. Todas las fracturas están rellenas de dolomita con remanentes del relleno original de calcita⁴.

• *Facies de pedernal*

La facies pedernalosa está constituida por pedernales microcristalinos con un bajo contenido de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados, en una proporción aproximada de 3:1.

La presencia de pedernal criptocristalino en esta facies (aunque sólo se cuenta con dos muestras), es semejante en abundancia a la de aquellos de Río Calapa. En la muestra SM-8 el pedernal es laminado.

Al igual que en Calapa, el pedernal criptocristalino se presenta como “impurezas” - dando un tono pardo rojizo a la roca-, en diseminaciones, laminaciones, y como relleno de microfósiles (SM-8). Es común que estas laminaciones carezcan de continuidad horizontal y aparenten ser laminillas con una forma semilenticular (ver Capítulo V. Diagénesis).

El pedernal presenta microestructuras tales como laminaciones de pedernal microcristalino de cristalinidad fina y de cristalinidad gruesa (SM-8), laminaciones

⁴ **Tabla 5:** R: raro (1-4%), E: escaso (5-9%), F: frecuente (10-20%), C: común (21-30%), A: abundante (31-50%), M: muy abundante (>50%). Las muestras marcadas con * corresponden a pedernales (los números de muestra repetidos indican que la muestra consiste de una parte carbonatada y una parte de pedernal). **ALOQUIM:** aloquímicos. **FORAMIN:** foraminíferos. **Fm Planc:** foraminíferos planctónicos. **Fm Bento:** foraminíferos bentónicos. **RADIOLAR:** radiolarios. **Rd Micri:** radiolarios reemplazados por micrita. **Equinod:** equinodermos. **Ostracod:** ostrácodos. **Calcisf:** calcisferas. **Intracla:** intraclastos. **Extracla:** extraclastos. **ORTOQUI:** ortoquímicos. **Microesp:** microespatita. **Ped Mic:** pedernal microcristalino. **Ped Crip:** pedernal criptocristalino. **Textura:** M: mudstone, W: wackestone, P: packstone, G: grainstone. **Lam Fos:** laminaciones fosilíferas. **Lam Carb:** laminaciones carbonatadas. **Lam PedF:** laminaciones de pedernal de cristalinidad muy fina. **Lam PedG:** laminaciones de pedernal de cristalinidad más gruesa. **Mlen Car:** microlentes carbonatados. **MEst Car:** microestructuras de carga **S M F T:** microfacies estandar de Wilson. **Fac Zona:** zonas o cinturones de facies de Wilson. **MF Peder:** microfacies de pedernales (C: microfacies criptocristalina; Cl: microfacies criptocristalina laminada; M: microfacies microcristalina). **CLASIFIC:** clasificación (B: biomicrita; Bl: pelmicrita; Pm: pedernal microcristalino).

fosilíferas (SM-8), laminaciones de pedernal criptocristalino (SM-8), y microestructuras de carga (SM-4A). Así como parches micríticos (SM-4A).

En SM-8 se observan cambios de microfacies consistentes en un mayor o menor contenido faunístico, cambios en la cristalinidad del pedernal y la abundancia o carencia de pedernal criptocristalino.

En esta facies, de manera semejante a las localidades anteriores, se aprecian varios tipos de preservación en microfósiles (ver Capítulo. V).

Los procesos diagenéticos que afectaron a estos pedernales son los mismos a los que se ha estado haciendo referencia, y que se tratarán en el capítulo V.

El fracturamiento, a diferencia de la facies carbonatada, es intenso; se aprecian tres eventos. Todas las fracturas están rellenas de calcita, parcialmente afectada por los reemplazos sufridos por esta facies.

2. BIOESTRATIGRAFIA

A. FORAMINIFEROS PLANCTONICOS

Las discrepancias que han presentado diversos autores al asignar una edad para la Formación Tamaulipas Superior, en los alrededores de Tehuacán, Pue., como se discutió con anterioridad, fue uno de los mayores problemas a resolver en el presente trabajo.

El estudio bioestratigráfico se efectuó a partir de especímenes sueltos y secciones en lámina delgada de foraminíferos planctónicos. Para ello se tomaron como base las diversas publicaciones sobre bioestratigrafía de Longoria (1972, 1975, 1977a, 1977b, 1979 y 1984).

a) Especímenes sueltos

Los especímenes sueltos fueron recuperados a partir de los horizontes de pedernal (ver Metodología, p. 7). Sin embargo, de 11 muestras procesadas sólo dos: MG-8 y T-4, arrojaron resultados satisfactorios (Lámina V).

No obstante, a partir de estos especímenes se obtuvo información que ayudó a esclarecer importantes cuestiones referentes tanto a la edad como al retrabajo que sufrieron algunas especies. Esto último se tratará más adelante con detalle.

b) Lámina delgada

El estudio en lámina delgada ofreció mejores criterios para establecer la bioestratigrafía de la secuencia. El estudio se realizó principalmente en las facies carbonatadas de ambas localidades, y en menor proporción en las facies pedernalosas.

En seguida se presenta el estudio bioestratigráfico de cada localidad. Este estudio se basó en la zonificación bioestratigráfica que Longoria (1984) estableció para el Cretácico (ver fig. 8).

De esta manera, el autor se limita a seguir las consideraciones de dicha zonificación. Empero es conveniente aclarar que el Albiano, tal como se considera en el esquema mencionado, correspondería al Albiano Temprano, y el Vraconiano se consideraría como el Albiano Tardío, de acuerdo con la Escala del Tiempo Geológico (Geological Society of America, 1983).

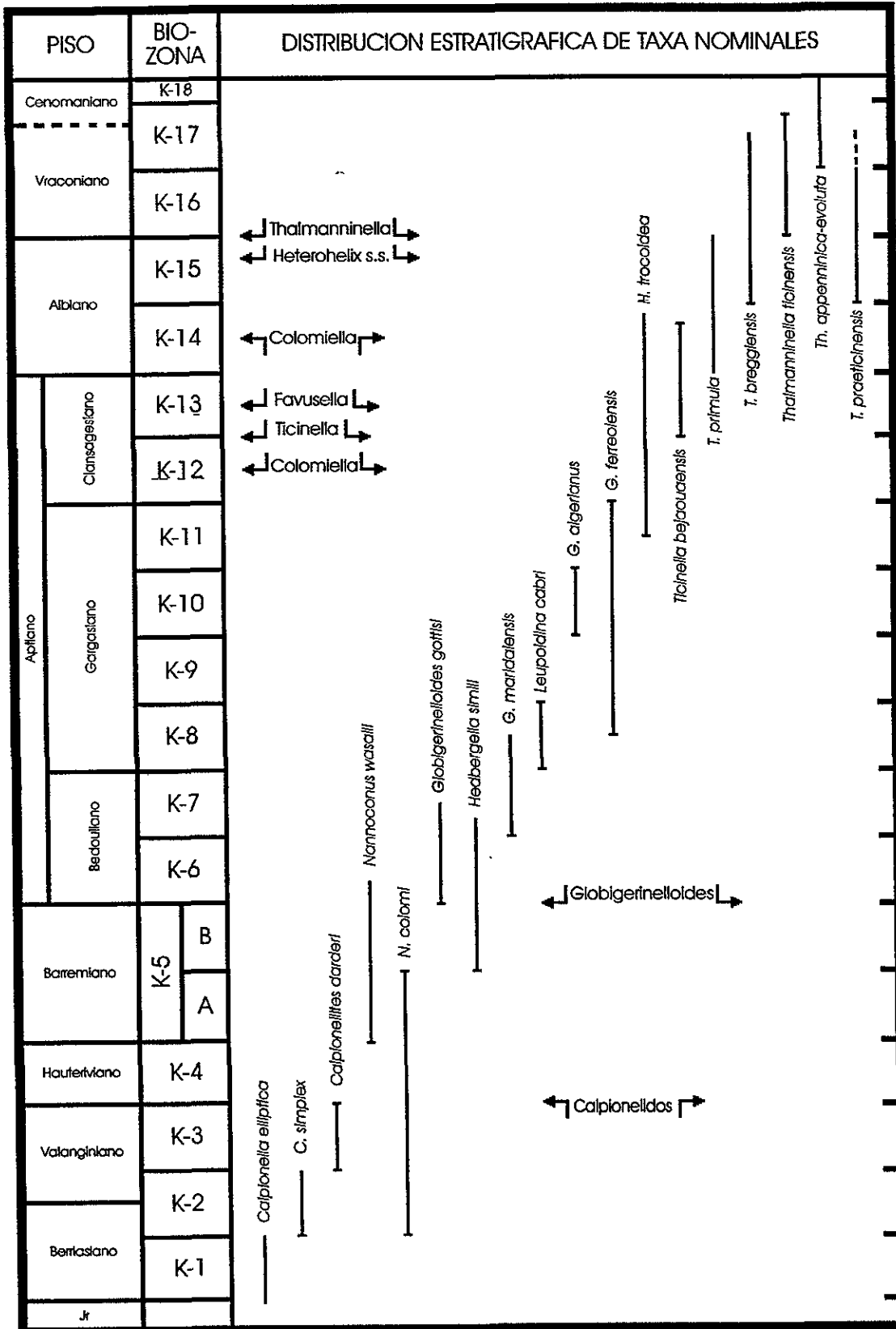


Fig. 8 Zonificación bioestratigráfica del Cretácico (Longoria, 1984).

- Localidad Calapa

La unidad constituida por calizas con escasos horizontes de pedernal, que subyace a la Formación Tamaulipas Superior en el río Calapa, fue considerada como Cretácico Inferior no determinado (ver Litoestratigrafía, p. 19). Sin embargo, el autor encontró en dicha unidad algunas secciones de Favusella sp., las cuales fueron identificadas por Longoria (com. pers.) como Favusella nitida y Favusella scitula (Lámina IV, 4 y 6) cuyo rango se encuentra en la *Zona K-14*, que corresponde al Albiano Temprano (ver fig. 9, p. 49)⁵.

Estas especies fueron observadas cerca del contacto superior de esta secuencia con la Fm. Tamaulipas Superior. Así, la denominación que Velasco (com. pers.) emplea para designar a esta unidad se modifica en el presente trabajo, considerándola como Albiano Inferior.

Ahora bien, en las muestras en las que se encontraron los favusélidos, se observó la presencia de foraminíferos aptianos, lo cual evidencia que dichas especies provienen del retrabajo de alguna secuencia carbonatada depositada durante el Aptiano. Así, en la muestra P-5 Favusella nitida se encuentra coexistiendo con especies del Aptiano Tardío: Hedbergella luterbacheri, H. sigali, Globigerinelloides ferreolensis, G. gottisi; y aún con especies del Aptiano Temprano: Caucasella hoterivica⁶ y Hedbergella occulta.

En la muestra P-5A, donde se observó Favusella scitula, se encontraron asimismo secciones aptianas: Hedbergella sigali y H. luterbacheri (Aptiano Tardío), y de Caucasella sp. (Aptiano Temprano).

Formación Tamaulipas Superior

Como se explicó en el Capítulo III, la distinción entre la unidad del Albiano Temprano y la Formación Tamaulipas Superior se llevó a cabo bajo criterios de campo y sedimentológicos que se detallaron con el análisis de microfacies.

⁵ Las especies de foraminíferos observadas en cada una de las muestras se presentan de manera detallada en el Apéndice Petrográfico.

⁶ Loeblich y Tappan (1988) establecen la sinonimia entre los géneros *Caucasella* y *Globuligerina*, así como las correspondientes familias *Caucasellidae* y *Globuligerinidae*. Puesto que en el presente trabajo se utiliza la zonificación de Longoria (1984), el autor conserva la nomenclatura de dicho esquema zonal.

A pesar de la carencia de formas determinativas en la base de la secuencia en estudio, la base de la Formación Tamaulipas Superior puede asignarse a la parte superior de la *Zona K-14*, dado que la cima de la unidad subyacente pertenece a la *Zona K-14*, y que el contacto entre estas dos unidades es transicional.

Un ejemplo de lo anterior es la lámina T-4 donde se observó *Ticinella bejaouaensis* (Lámina III, 2), que comprende el intervalo entre las zonas *K-13* y *K-14*; pero coexiste con especies retrabajadas (*Hedbergella luterbacheri*, *H. trocoidea*, *Globigerinelloides ferreolensis* y con *Caucasella* sp.), así la posibilidad de que *Ticinella* sea de retrabajo está latente.

El control bioestratigráfico en esta unidad es a partir de la porción media-baja de la secuencia (ver sección estratigráfica, p.19), esto es, en la muestra T-11A, donde se observó por primera vez *Ticinella praeticinensis* la cual marca el final de la *Zona K-14* y el inicio de la *Zona K-15*, que corresponde al Albiano Tardío (Lámina IV, 5).

En esa muestra *Ticinella praeticinensis* coexiste con *Hedbergella sigali*, *H. roblesae*, *H. similis*, *Globigerinelloides aptiense*, *G. maridalensis*, y *G. algerianus* (Aptiano Tardío), y con *Caucasella hoterivica* (Aptiano Temprano), lo que refleja el retrabajo del cual provienen estas especies.

Cabe mencionar que en la muestra T-13A, en la porción media de la secuencia, se observó *Thalmaninella cf ticinensis* (Longoria, com. pers.), lo que podría significar el inicio de la *Zona K-16* en esta secuencia; pero por conveniencia se marca el inicio de *K-16* donde ocurre claramente la primera aparición de *Thalmaninella* sp. en esta unidad.

Es en la muestra T-17A, en la porción media-superior, donde se marca el final de la *Zona K-15* y el inicio de la *Zona K-16*, con la primera aparición de *Thalmaninella ticinensis* (Lámina IV, 7). Esta *Zona K-16* corresponde al Vraconiano Temprano.

Aquí también es evidente el retrabajo de especies aptianas, puesto que *Thalmaninella ticinensis* coexiste con *Ticinella bejaouaensis*, *Globigerinelloides barri*, *G. ferreolensis*, *G. macrocameratus*, *Hedbergella trocoidea*, además de *Caucasella* sp.

En las láminas estudiadas del resto de la secuencia, a partir de T-17A, no se encontró especie alguna que definiese el límite de las zonas *K-16/K-17*, por lo que se considera que la porción superior de esta secuencia se depositó durante el tiempo

representado por la *Zona K-16*. Sin embargo el retrabajo de las especies aptianas continuó presentándose.

Por tanto, el rango bioestratigráfico que aquí se asigna a la Formación Tamaulipas Superior, en el río Calapa, es de la *Zona K-14* (?) a la *Zona K-16*, Albiano Temprano (?) a Vraconiano Temprano.

Rango de Zonas y Distrib. Estratigráfica de Foraminíferos Planctónicos en el Albiano, Loc. Río Calapa.			CUCULIOLIDAE						HEDBERGELLIDAE					TICINELLIDAE			ZONIFICACION BIOESTRATIGRAFICA (LONGORIA, 1984)			
			C. <i>haferi/ica</i>	G. <i>apfense</i>	G. <i>maridatensis</i>	G. <i>macrocameratus</i>	G. <i>barri</i>	G. <i>algerianus</i>	H. <i>sigali</i>	H. <i>roblesae</i>	H. <i>similis</i>	H. <i>luterbacheri</i>	H. <i>fracoldea</i>	T. <i>bejaouaensis</i>	T. <i>praeflavinensis</i>	Th. <i>flavinensis</i>	ZONA	ETAPA		
FORMACION	METROS	*NO. DE MUESTRA																ZONA	ETAPA	
TAMAULIPAS SUPERIOR	165	T-17A																	K-17	VRACONIANO
	127	T-11A																	K-16	
	20	T-4 (?)																	K-15	ALBIANO
																		K-14		
Especies retrabajadas más comunes encontradas en la Formación Tamaulipas Superior, en esta localidad.																			K-13	APTIANO
																			K-12	
																			K-11	
																			K-10	
																			K-9	
																			K-8	

Fig. 9 Bioestratigrafía de la Formación Tamaulipas Superior, localidad Río Calapa (* que presentan los controles bioestratigráficos).

- Localidad San Bernardino Lagunas

En esta localidad la base de la Formación Tamaulipas Superior no pudo asignarse claramente a ningún rango bioestratigráfico.

Esto se debe a que sólo en la muestra SB-4, muy cerca de la base de la secuencia, (ver sección estratigráfica, p. 26), se observó una sección longitudinal de Ticinella bejaouaensis? la cual fue considerada como “indeterminable” (Longoria, com. pers.), y no se encontraron formas determinativas algunas.

El primer control bioestratigráfico con que se cuenta es el inicio de la *Zona K-16*, definido por la primera aparición de Thalmaninella ticinensis, muestra SB-11, en la porción inferior de la secuencia. La *Zona K-16* corresponde al Vraconiano Temprano.

En esta muestra (SB-11) Th. ticinensis coexiste con especies aptianas tales como Globigerinelloides algerianus, G. ferreolensis y aún con Caucasella sp., lo cual hace evidente la presencia de retrabajo en el depósito de esta secuencia, al igual que lo reportado ya en la localidad Calapa.

En el resto de las láminas estudiadas no se observaron especies características de la cima de la *Zona K-16*, por lo que se infiere que el depósito de esta unidad continuó en su mayor parte durante el Vraconiano Temprano.

La primera aparición de Thalmaninella appenninica (Lámina IV, 1) hacia la parte más alta de la secuencia, -muestra SB-31A (ver sección estratigráfica, p. 26)-, marca el final de la *Zona K-16* y el inicio de la *Zona K-17* que corresponde al Vraconiano Tardío.

Esta muestra (SB-31A) refleja también claramente el retrabajo de especies aptianas durante el depósito; así, Th. appenninica coexiste con Globigerinelloides barri, G. algerianus, G. ferreolensis, Hedbergella luterbacheri y H. trocoidea.

En la localidad San Bernardino Lagunas, el rango bioestratigráfico aquí asignado para la Formación Tamaulipas Superior es de la *Zona K-14* (?) a la *Zona K-17*. Esto es, del Albiano Temprano (?) al Vraconiano Tardío (ver fig. 10, p. 47).

Rango de Zonas y Distrib. Estratigráfica de Foraminíferos Planctónicos en el Albiano, Loc. San Bernardino Lagunas.			GLOBIGERINELLOIDIDAE						HEDBERGELLIDAE				TICINELLIDAE			ZONIFICACION BIOESTRATIGRAFICA (LONGORIA, 1984)			
			G. sigali	G. ferreolensis	G. maridatensis	G. macrocameratus	G. barri	G. algerianus	H. sigali	H. robesae	H. similis	H. luterbacheri	H. trocoldea	T. bejaouaensis	Th. thalensis			Th. appenninica	ZONA
FORMACION	METROS	*No. DE MUESTRA																	
TAMAULIPAS SUPERIOR	377	SB-31A																K-17	VIRACONIANO
	45	SB-11																K-16	
	10	SB-4 (?)																	K-15
Especies retrabajadas más frecuentes encontradas en la Formación Tamaulipas Superior, en esta localidad.																		K-14	
																		K-13	
																		K-12	
																		K-11	
																		K-10	
																		K-9	
																	K-8	APTIANO	

Fig. 10 Bioestratigrafía de la Formación Tamaulipas Superior, localidad San Bernardino Lagunas (* controles bioestratigráficos).

- Localidad Miahuatpec

En Miahuatpec, la base de la Formación Tamaulipas Superior es asignada a la Zona K-14 (?), con base en la presencia de *Favusella scitula* (?) en la muestra SM-1 (Lámina IV, 2). Como se vio anteriormente, la Zona K-14 corresponde al Albiano Temprano.

En la muestra SM-1 *Favusella scitula* (?) se encuentra coexistiendo con *Hedbergella sigali*, *Globigerinelloides aptiense*, y aún *Caucasella hoterivica*, especies retrabajadas del Aptiano durante el depósito de esta unidad.

Hacia la porción media-superior de la secuencia se tiene el siguiente y último control bioestratigráfico. En la muestra SM-6 se observó por primera vez la presencia de Thalmaninella ticinensis, lo que marca el inicio de la *Zona K-16*, que corresponde al Vraconiano Temprano (Lámina IV, 3).

En esa muestra Th. ticinensis se observó coexistiendo con Hedbergella sigali, H. luterbacheri, H. trocoidea, H. infracretacea, H. similis, Globigerinelloides ferreolensis, G. macrocameratus, G. algerianus, G. barri y Caucasella sp., especies aptianas retrabajadas.

Hacia la parte superior de esta secuencia se carece de algún control bioestratigráfico, en parte debido al tipo de facies de esta unidad en su porción más alta.

De este modo, el rango bioestratigráfico aquí asignado a la Formación Tamaulipas Superior, en la localidad Miahuatepec, es de la *Zona K-14* (?) en su base, a la *Zona K-16* en su parte media-superior. Es decir, del Albiano Temprano (?) al Vraconiano Temprano (ver fig. 11, pág. 49).

El depósito de la Formación Tamaulipas Superior en la región de los alrededores de Tehuacán, Pue., tuvo lugar de manera contemporánea en las localidades estudiadas. Esto es, con ligeras diferencias, el depósito transcurrió durante el Albiano Temprano (?) y hasta el Vraconiano Temprano. Llegando al Vraconiano Tardío tan sólo en el caso de la localidad San Bernardino Lagunas.

Rango de Zonas y Distrib. Estratigráfica de Foraminíferos Planctónicos en el Albiano, Loc. Miahuatepec.			CUCULLENIDAE	GLOBIGERINELLOIDIDAE							HEDBERGELLIDAE				FALCULLENIDAE	NONELLIDAE	ZONIFICACION BIOESTRATIGRAFICA (LONGORIA, 1984)	
			C. hoterivica	G. apfense	G. duboisi	G. goffisi	G. ferreolensis	G. macrocarinatus	G. barri	G. algerianus	H. sigall	H. similis	H. luterbacheri	H. frocoldea	F. softula	Th. flicheris		
FORMACION	METROS	*No. DE MUESTRA															ZONA	ETAPA
TAMAULIPAS SUPERIOR	166	SM-6															K-17	VIRACONIANO
																	K-16	
Especies re trabajadas más comunes encontradas en la Formación Tamaulipas superior, en esta localidad.	7	SM-1															K-15	ALBIANO
																	K-14	
																	K-13	APTIANO
																	K-12	
																	K-11	
																	K-10	
																	K-9	
																	K-8	

Fig. 11 Bioestratigrafía de la Formación Tamaulipas Superior, localidad Miahuatepec (* sólo controles bioestratigráficos).

CAPITULO IV. ANALISIS PALEOAMBIENTAL

1. AMBIENTE DE DEPOSITO

Las interpretaciones paleoambientales que los diversos autores han establecido para la Formación Tamaulipas Superior (o bien Formación Miahuatepec, de acuerdo con algunos de ellos) en la región de Tehuacán y sus alrededores (ver Antecedentes, p. 10), descansan invariablemente en la litología y la fauna observada por ellos.

Si bien las interpretaciones de esos autores son hasta cierto punto atinadas en cuanto al ambiente de depósito (Pano, Toriz, Alzaga, y Barrientos), en el presente trabajo se establece un análisis de microfacies, con la intención de soportar con mayores bases las interpretaciones paleoambientales para la secuencia en estudio.

En seguida se expone dicho análisis, el cual se realizó por localidad como se ha estado haciendo a lo largo del presente estudio.

A. MICROFACIES ESTANDAR DE WILSON

- Localidad Río Calapa

De acuerdo con el Modelo de Microfacies de Wilson (fig. 12, p. 55), el análisis de microfacies para la sección Calapa indica que éstas son claramente asignables a una facies de Margen de Cuenca; esto es, la Zona de Facies 3 (FZ 3), caracterizada por una “sedimentación de detritos carbonatados y material pelágico, con una litología consistente en calizas de grano fino, ocasionalmente pedernalosas, con algunas intercalaciones de lutitas y limos”.

En cuanto a las microfacies estándar (SMFT), se puede decir que en general se mantuvieron constantes, sin grandes cambios en las condiciones de sedimentación. Estas fueron propicias para el depósito de microfacies tipo 3 (SMFT 3) (Lámina II, 3), sufriendo apenas ligeras variaciones debido al retrabajo (mencionado en el Capítulo III), atribuible a procesos turbidíticos durante el depósito de esta secuencia (tabla 6, p. 56).

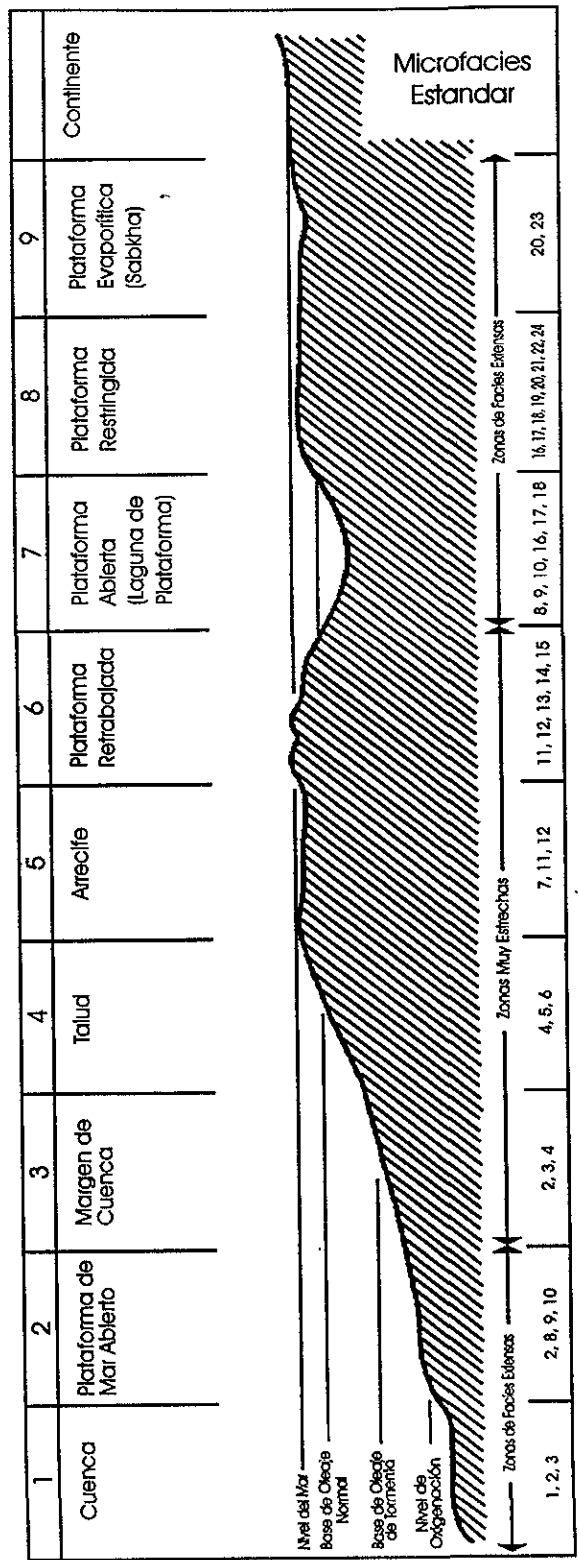


Fig. 12 Esquema de Facies de Wilson, Modificado por Flügel (1982). Secuencia de los Tipos de Microfacies Estandar (SMFT).

Sin embargo, en la porción más alta -de que se tiene registro- de la secuencia (lámina T-18A), se observa nuevamente una zona de facies FZ 3, sugiriendo un descenso en el nivel del mar, y por ende en la profundidad del depósito, hasta volver a tener las condiciones anteriores al depósito de MG-1. La muestra T-18A, de microfacies SMFT 3, exhibe ligeras variaciones a una microfacies SMFT 2, reflejada en la presencia de peloides.

- Localidad San Bernardino

Las microfacies en esta localidad presentan mayores variaciones en comparación con la localidad Calapa (ver tabla 7, p. 58).

En la base (lámina SB-2), la secuencia pertenece a la zona de facies FZ 1, con una microfacies SMFT 3.

Posteriormente (lámina SB-3), la zona de facies pasa a la zona FZ 3, y las microfacies varían entre SMFT 2 y SMFT 3.

A partir de la lámina SB-5 y hasta la número SB-7, se aprecia un depósito de facies FZ 1 con una microfacies SMFT 3.

Subsiguientemente se produjo un depósito de facies FZ 3, que se mantiene constante a lo largo del resto de la secuencia, sin registrar más cambios. Empero en cuanto a microfacies sí se aprecian algunas variaciones en el resto de las muestras. Así, aunque la microfacies dominante es el tipo SMFT 3, en algunas muestras se produjeron cambios de microfacies, como en SB-11 (SMFT 2, 3 y 4), SB-14 (SMFT 3, 4 y 3), SB-20 (SMFT 3, 2 y 3), y SB-31A (SMFT 3, 2 y 3). Como se puede apreciar, estas variaciones fueron originadas por cambios en la energía lo cual provocó cambios texturales, aumento en el tamaño de partículas, presencia de peloides, microbrechas, etc.

De cualquier manera, se considera que las condiciones ambientales fueron muy semejantes a aquellas en las que se depositó la secuencia en la localidad Calapa.

Tabla 7. Microfacies y Zonas de Facies de Wilson. Sección San Bernardino Lagunas.

No. de MUE	Zonas de Facies de Wilson				Microfacies de Wilson			
	FZ 1	FZ 2	FZ 3	FZ 4	SM1	SM2	SM3	SM4
SB-31A								
SB-30								
SB-29								
SB-28								
SB-27								
SB-25								
SB-23								
SB-21								
SB-20								
SB-19								
SB-17								
SB-16								
SB-15								
SB-14								
SB-13								
SB-11								
SB-10								
SB-9								
SB-8A								
SB-8								
SB-7								
SB-6A								
SB-6								
SB-5								
SB-4A								
SB-4								
SB-3								
SB-2								

- Localidad Miahuatepec

El depósito de la secuencia en la sierra de Miahuatepec se produjo como zonas FZ 3 y FZ 4; la facies 4 corresponde, de acuerdo con Wilson, a Depósitos de Talud, y se caracteriza “por una sedimentación inestable de detritos con una litología constituida por brechas sedimentarias y calizas redepositadas”, principalmente (ver tabla 8, pág. 55).

De esta manera, la base de la secuencia pertenece a la zona de facies FZ 3, con una microfacies SMFT 4, microbrecha, en la lámina SM-1; y microfacies SMFT 2 y SMFT 3 en la lámina SM-2.

Hacia la porción baja, la unidad se depositó como una facies FZ 4, con microfacies SMFT 4, tipo microbrecha.

A partir de entonces la secuencia experimentó una alternancia entre las facies FZ 3 y FZ 4, implicando procesos turbidíticos proximales (FZ 4) y distales (FZ 3).

Las microfacies, por su parte, respondieron inequívocamente a esos procesos diferenciados y periódicos, teniendo lugar microfacies SMFT 4 durante las etapas turbidíticas proximales (Lámina II, 5) y microfacies SMFT 3 en los periodos de relativa calma (turbiditas distales).

Tabla 8. Microfacies y Zonas de Facies de Wilson. Sección Miahuatepec.

	Zona de Facies FZ 3		Zona de Facies FZ 4		Zona de Facies FZ 3		Zona de Facies FZ 4	
	SMFT 4	SMFT 3	SMFT 4	SMFT 3	SMFT 4	SMFT 3	SMFT 4	SMFT 3
SM-7								
SM-8A								
SM-6								
SM-5								
SM-4								
SM-3								
SM-2								
SM-1								

B. MODELO AMBIENTAL

De acuerdo con el modelo paleogeográfico de la Cuenca del Golfo de México (Salvador, 1991), durante el Albiano tuvo lugar un depósito muy extenso de facies carbonatadas de cuenca en la porción oriental del país. Estas facies corresponden en parte a la *Formación Tamaulipas Superior* (ver figura 13, p. 62).

FALTA PAGINA

No. 56

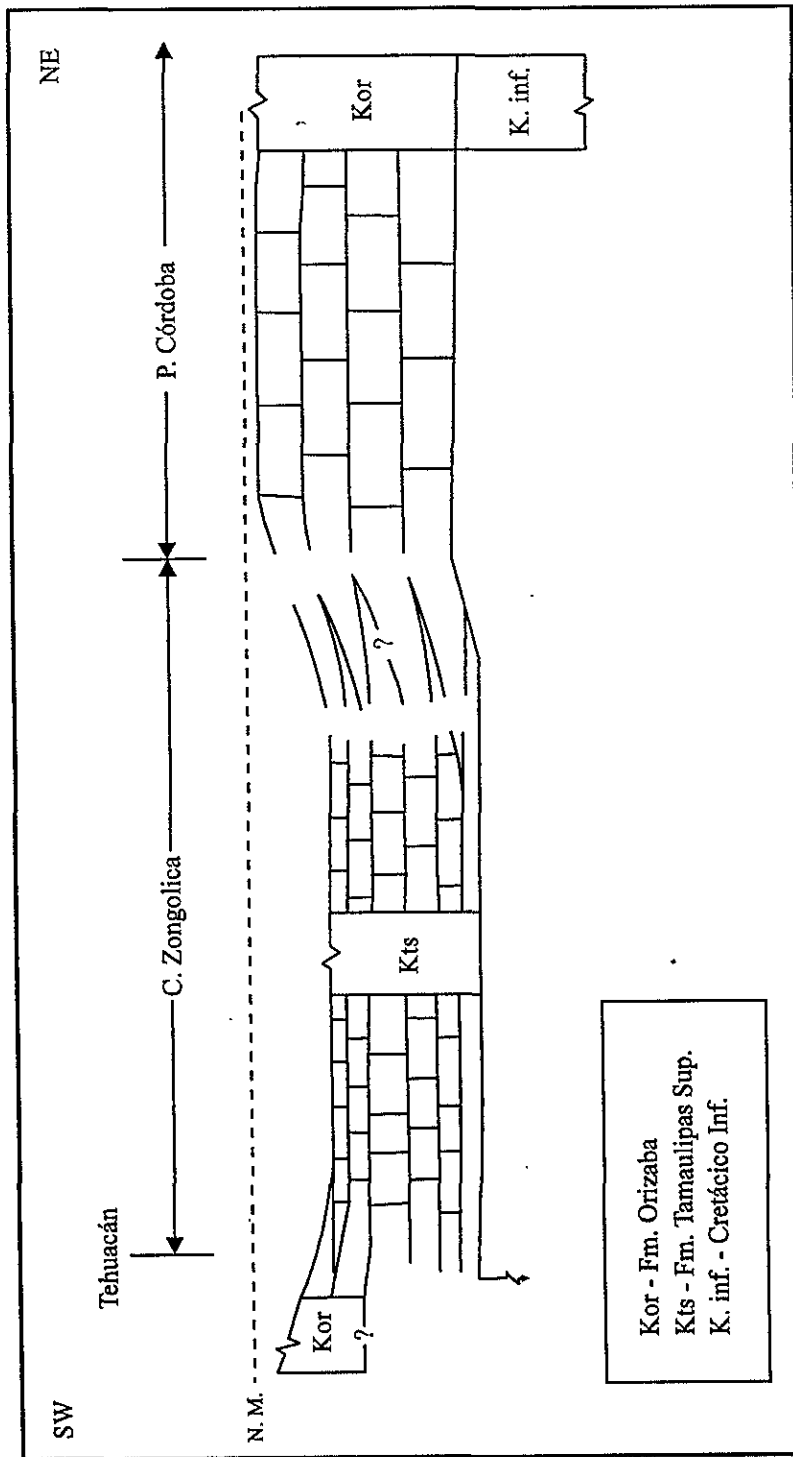


Fig. 14 Modelo Paleambiental de la Cuenca Zongolica (Albiano-Cenomaniano).
 Modificado de Alzaga (1987).

Y es precisamente en esa zona donde se encuentran las localidades estudiadas en el presente trabajo, en las cuales aflora la Formación Tamaulipas Superior como se ha documentado aquí. Por tanto, dentro del modelo mencionado, las facies de cuenca se deben continuar hacia el occidente de la Plataforma de Córdoba (fig. 13), dentro del paleoelemento denominado Cuenca de Zongolica (fig. 14, p. 63).

Depósito de la Formación Tamaulipas Superior en la región estudiada

Durante el Albiano, la unidad del Albiano Inferior pasa transicionalmente a la secuencia en estudio, en facies francamente de aguas profundas (turbiditas distales). Mientras tanto, una importante erosión de rocas carbonatadas aptianas aportó una considerable cantidad de sedimentos y microfauna de esa edad, durante el depósito de ambas secuencias. Estas condiciones se mantuvieron al menos hasta el Vraconiano Temprano.

En la localidad San Bernardino, el depósito de la Formación Chivillas Superior culminó durante el Aptiano Temprano (Alzaga, 1987), posteriormente fue erosionada.

Esta erosión fue seguida de una transgresión marina en el Albiano Tardío que daría lugar al depósito, de facies de aguas profundas (turbiditas distales), de la secuencia estudiada.

Así, el depósito de los carbonatos y de los horizontes pedernalosos de Tamaulipas Superior sufrió una cierta influencia del material terrígeno reabajado de la Formación Chivillas Superior, reflejado esto en la presencia, sobre todo, de partículas de cuarzo a lo largo de toda la secuencia estudiada en esta localidad. El resultado fue una discordancia erosional entre la secuencia de carácter terrígeno de Chivillas Superior y la secuencia carbonatada-pedernalosa de Tamaulipas Superior.

Por otro lado, en San Bernardino tuvo lugar también un aporte de sedimentos de rocas carbonatadas aptianas, como lo evidencia la presencia de foraminíferos planctónicos propios de tal edad, a lo largo de toda la secuencia.

Las condiciones mencionadas se mantuvieron constantes en general durante el depósito de Tamaulipas Superior en San Bernardino Lagunas, al menos hasta el Vraconiano Tardío.

La secuencia estudiada en la sierra de Miahuatepec se depositó como una facies de talud, asociada a las facies de cuenca del río Calapa y San Bernardino.

El hecho de que las relaciones estratigráficas en esta localidad sean por falla, no permite establecer claramente la relación con las facies profundas ya descritas. Sin embargo, al tiempo que para el Albiano Tardío se depositaban las facies de aguas profundas, en el talud de la Cuenca de Zongolica se depositaba esta secuencia, aunque con condiciones un tanto episódicas que permitieron la presencia de horizontes pedernalosos.

En Miahuatepec, la secuencia sufrió asimismo, la influencia de sedimentos y microfauna proveniente de rocas carbonatadas aptianas durante todo el depósito. Las condiciones ambientales se mantuvieron en general sin mayores cambios al menos hasta el Vraconiano Temprano.

En la figura 15 se presenta un modelo ambiental meramente esquemático, en el que se muestran las facies turbidíticas correspondientes para la Formación Tamaulipas, en las localidades estudiadas, dentro de un modelo de *abanico submarino*.

Esto último debido a que es el modelo más común al que se puede recurrir, al no contar con evidencias sobre la geometría de las facies estudiadas.

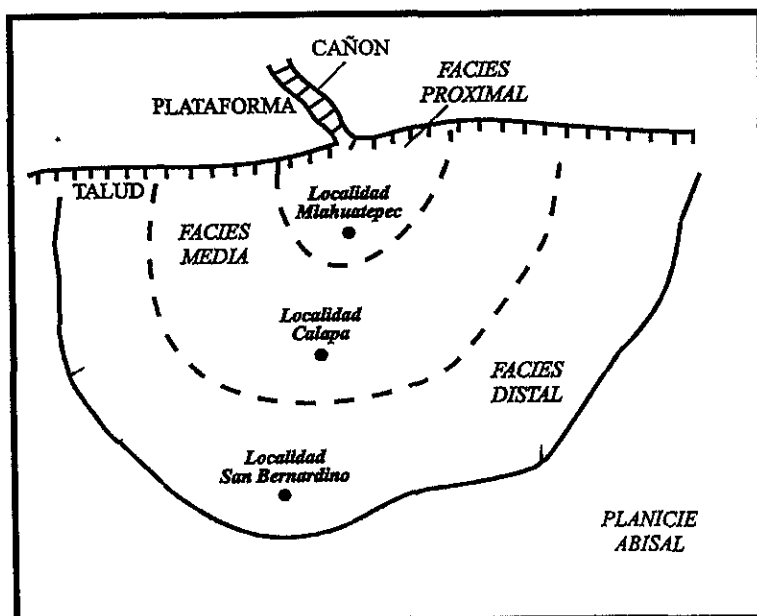


Fig. 15 Modelo ambiental para la Formación Tamaulipas Superior, en las localidades estudiadas. Modificado de Normak (1978).

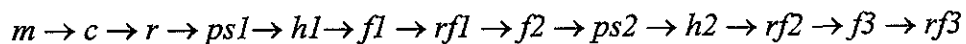
CAPITULO V. ANALISIS DIAGENETICO

El análisis diagenético se presenta por localidad como se ha estado haciendo en capítulos anteriores, tomando como referencia la localidad Río Calapa, a partir de la cual se establecen las semejanzas y contrastes con las localidades San Bernardino y Miahuatpec. Puesto que los procesos diagenéticos se manifiestan de manera diferente, se analizan por separado la facies carbonatada y la facies pedernalosa.

- Localidad Río Calapa

• Facies carbonatada

La paragénesis observada en esta facies se puede representar mediante la siguiente expresión:



En ella el primer evento diagenético es el reemplazo por micrita (*m*), considerado en este trabajo como el reemplazamiento de sílice opalino por CaCO₃ acaecido sólo en los esqueletos de los radiolarios.

Como se ha visto ya, el contenido de radiolarios en las biomicritas es considerable, y en su totalidad estos fueron reemplazados por micrita durante lo que se interpreta como una diagénesis temprana: se asume que dada la inestabilidad del ópalo original de los esqueletos de los radiolarios, ocurrió el remplazo que permitió la preservación de la delicada estructura de los esqueletos (Lámina II, 1-2).

El siguiente evento fue la compactación (*c*) que afectó a estas rocas provocando una ligera recristalización (*r*), reflejada en la matriz micrítica que muestra una débil tendencia a microespatita, así como en los radiolarios reemplazados por micrita, que se observan un tanto recristalizados.

Subsiguientemente la compactación ocasionó un proceso de presión-solución (*ps1*), que dio como resultado la formación de microestilolitas escasas, generalmente con muy poca continuidad horizontal y baja frecuencia en los picos.

Esta microestilolitización fue aprovechada como vía de migración de hidrocarburos, por lo que se observa una impregnación de hidrocarburos (*h1*) ligeros y pesados (Barceló, comunicación personal), los cuales se encuentran en dichas microestilolitas.

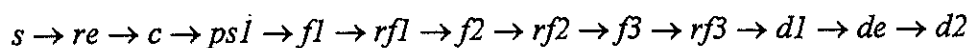
El fracturamiento conforma tres eventos. El primero de ellos (*f1*) se manifiesta sobre todo con fracturas delgadas con un patrón variable, las fracturas fueron rellenas por calcita (*rf1*). El segundo evento (*f2*) está representado por fracturas delgadas y en ocasiones gruesas, con un patrón que forma ángulos pequeños con la estratificación.

Un segundo proceso de presión-solución (*ps2*) provocado posiblemente por tectonismo tuvo lugar después del segundo evento de fracturamiento, mostrando un patrón sensiblemente paralelo a la estratificación; sin embargo esto sólo pudo determinarse en dos muestras (T-1 y T-13), lo cual debe responder a diferencias en cuanto a microfacies. Las microestilolitas de *ps2* también fueron impregnadas por hidrocarburos ligeros, y en ocasiones por hidrocarburos pesados, los cuales aprovecharon además las fracturas de *f2* como mecanismo de migración (*h2*), manifestándose como impregnaciones y esporádicamente como relleno de éstas (Barceló, com. pers.).

Posteriormente, las fracturas del segundo evento (*f2*) fueron rellenas por calcita (*rf2*). El tercer evento (*f3*) provocó fracturas delgadas y gruesas, cuyo patrón tiende a ser perpendicular a la estratificación, el relleno de estas fracturas también fue calcítico (*rf3*).

• Facies de pedernal

La diagénesis en los pedernales fue más compleja que en la facies carbonatada. Así, la paragénesis en esta facies pedernalosa es la siguiente:



El primer evento diagenético es la silicificación de la microfauna carbonatada (*s*). Como se ha visto, los pedernales tienen un alto contenido de foraminíferos planctónicos;

estos, en su totalidad, fueron silicificados como resultado del reemplazamiento del carbonato original de las conchas; este reemplazo se ha considerado como una diagénesis temprana tomando en consideración la inestabilidad de los carbonatos en tales condiciones ambientales; así, la silicificación debió darse prácticamente de manera inmediata a su depósito para, de esta manera, haber conservado la estructura de la concha, de otro modo las conchas carbonatadas hubiesen sido disueltas por las condiciones ambientales propias para la precipitación del pedernal.

El segundo evento diagenético fue la recristalización del ópalo original de los esqueletos de los radiolarios (*re*), el cual recristalizó a cuarzo por lo general; aunque frecuentemente recristalizó a calcedonia.

El siguiente evento, la compactación (*c*), tuvo como efecto el "estrangulamiento" de las laminaciones de pedernal criptocristalino, dando lugar a un microbudinado.

Esta compactación produjo a su vez un proceso de presión-solución que originó microestilolitas con una mínima continuidad horizontal (*ps1*), asociadas a las laminaciones antes mencionadas. En esta facies, *ps1* fue interpretada a partir de la compactación que sufrieron dichas laminaciones, ya que no fue posible diferenciar entre estas y las microestilolitas debido entre otras cosas a la coloración del pedernal criptocristalino. Por la misma razón no se observó la presencia de *ps2* ni de *h2*.

El siguiente evento diagenético, el fracturamiento, como ya se vio en la facies carbonatada, consta de tres eventos, ambos rellenos de calcita. El fracturamiento empero se manifiesta con menor intensidad en esta facies debido a la diferencia de litologías.

Posterior al relleno de las fracturas tuvo lugar una dolomitización (*dl*) la cual se presenta en varias formas: como el crecimiento de cristales aislados, individuales o en agregados; como cristales que crecieron a partir de las conchas de los microfósiles -foraminíferos y radiolarios- que funcionaron a manera de núcleo, en ocasiones embebiéndolos; reemplazando el relleno de las fracturas, originalmente calcítico; y como cristales creciendo a todo lo largo del contacto entre los pedernales y las biomicritas (Lámina III, 3).

La dolomitización, además, ocurrió a nivel de una cristalinidad muy fina formando cristales muy pequeños y abundantes -semejantes a microespatita-, que conformaron

"diseminaciones" llegando a formar parches. Este reemplazamiento fue tan intenso que ocasionó horizontes en los que el reemplazo fue casi total, lo que en este trabajo se ha llamado *horizontes de intenso reemplazamiento*; así, el pedernal coexiste con la dolomita aunque comúnmente se observa un cierto predominio de alguno de ellos. Esta forma de dolomitización tuvo efecto, por lo general, en aquellos horizontes o laminaciones en donde la cristalinidad del pedernal es más fina (T-4, T-6, T-8, T-10, T-14 y T-16).

Subsiguientemente se dio una dedolomitización (*de*); este reemplazo fue parcial y afectó casi a todas las formas en que se llevó a cabo la dolomitización. Sin embargo, en aquellos horizontes de intenso reemplazamiento la dedolomitización fue prácticamente nula.

El último evento en el orden diagenético de estas rocas fue una segunda dolomitización incipiente (*d2*), muy ligera, que se aprecia en los bordes de algunas partículas y cristales. Un ejemplo de estas partículas que presentan los tres reemplazamientos por carbonatos se muestra en la Lámina VI, 2-4.

La ausencia de los eventos diagenéticos, en la facies carbonatada, documentados para la facies de pedernal (es decir los procesos de reemplazamiento por carbonatos), se debe a que estos procesos responden esencialmente a la propia litología de ambas facies⁷.

Por otra parte, en los pedernales se distinguen cinco tipos de preservación en los microfósiles, como resultado de los procesos de reemplazamiento; estos son, en orden de abundancia, los siguientes: **Tipo I)** conchas silicificadas de foraminíferos con relleno de cuarzo, frecuentemente con impurezas de pedernal criptocristalino; **Tipo II)** esqueletos de radiolarios y conchas silicificadas de foraminíferos, reemplazadas por carbonatos (en el caso de los foraminíferos es al menos el segundo reemplazamiento, pues previamente fueron

⁷ **Tabla 9:** Nod Cuar: nódulos de cuarzo. Nod Calc: nódulos de calcedonia. Tex Budi: textura budinada. Recrista: recristalización en calizas (intensidad: B: baja; M: moderada; A: alta). Ho Re To: horizontes de intenso reemplazamiento. Silicif: silicificación. Dolomit: dolomitización. Dedolom: dedolomitización. Hor Remp: horizontes de reemplazamiento. MicEstil: microestilolitización. # Gen ME: número de generaciones de microestilolitas (I y 2). Pres Fos: tipo de preservación de microfósiles (radiolarios y foraminíferos) en pedernales (I, II, III, IV y V). Frac Int: intensidad de fracturamiento (B: baja, M: moderada, A: alta). Frac Ev: # de evento de fracturamiento. Frac Rel: relleno de fracturas (C: calcita).

Tabla 9. Diagénesis de la localidad Río Calapa.

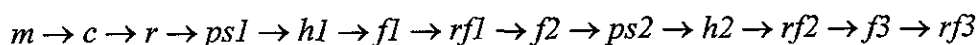
No. Mtra	N o d	N o d	R e c	T e x	H o r	S i l	D o l	D e l	H o r	M i c	#	P e s	F a c	F a c	F a c
	C u a r	C u a r	f i s	B e r	R e c	R e c	R e c	R e c	R e c	R e c			F a c	F a c	F a c
	a z u	a z u	i d r	l i t	i l i	i l i	i l i	i l i	i l i	i l i			F a c	F a c	F a c
	r c a	r c a	a j o												
*T-18				X		X	X	X	X	X	1	I II III IV V	M	3	C
T-18A				X						X	1		M	3	C
*MG-1						X	X	X	X		1	I II III IV	M	2	C
MG-2			B								?		M	?	C
*MG-2A				X	X	X	X	X	X	X	1	I II III IV	B	?	C
*MG-3				X		X	X	X	X		1	I II III IV	M	3	C
MG-3A			B								1		B	2	C
MG-3B			B								1		M	3	C
MG-4			M								1		A	3	C
MG-4A			B	X						X	1		M	3	C
T-17A			B								1		M	3	C
*T-17						X	X	X	X	X	1	I II III IV V	B	?	C
*T-16						X	X	X	X		1	I II III IV?	M	?	C
*T-15				X		X	X	X		X	1	I II III IV?	A	3	C
*T-14						X	X	X	X		1	I II III IV V	A	3	C
T-13			B							X	2		A	3	C
T-13A	X		B			X	X	X		X	1	I II III	M	3	C
T-12B			B								?		A	3	C
*T-12A						X	X	X			1	I II III IV?	M	?	C
T-11A			B							X	1		M	3	C
*T-11						X	X	X			1	I II III IV	A	3	C
*T-10						X	X	X	X		1	I II III IV	M	3	C
*T-9	?	X				X	X	X	X		1	I II III IV	A	3	C
T-9A			B								?		M	3	C
*T-8						X	X	X	X		1	I II III	A	3	C
*T-7A				X		X	X	X			1	I II III	M	3	C
*T-7		X				X	X	X			1	I II III IV	M	?	C
*T-6						X	X	X	X	X	1	I II III	M	?	C
*T-5						X	X	X			1	I II III IV?	M	?	C
*T-4				X		X	X	X	X	X	1	I II III IV	M	?	C
*T-3						X	X	X			1	I II III IV	A	?	C
*T-2						X	X	X			1	I II III IV	M	?	C
T-1			B							X	2		M	3	C

silicificados); **Tipo III**) conchas silicificadas de foraminíferos rellenas de pedernal criptocristalino, por lo general son fragmentos de conchas o cámaras sueltas y microfósiles muy pequeños (Lámina III, 2); **Tipo IV**) conchas silicificadas de foraminíferos y esqueletos de radiolarios con relleno de calcedonia hacia el centro y cuarzo en la periferia; y, **Tipo V**) conchas de foraminíferos con la pared carbonatada (por reemplazo) y relleno de cuarzo; este último tipo de preservación sólo se observó de manera excepcional, dado que es muy raro; y únicamente en esta localidad.

- Localidad San Bernardino Lagunas

• Facies carbonatada

En esta localidad la paragénesis observada en la facies carbonatada es la siguiente:



En ésta, al igual que en la localidad Calapa, el primer evento diagenético es el reemplazo por micrita del esqueleto de los radiolarios mediante un reemplazamiento temprano (*m*).

El siguiente evento fue la compactación (*c*), provocando la recristalización de estas rocas (*r*); tal recristalización fue más intensa que la observada en la facies carbonatada de Río Calapa; teniendo como resultado, además, que la preservación de los foraminíferos es generalmente tan sólo como fantasmas, lo cual dificultó su estudio; asimismo los radiolarios reemplazados por micrita se observan recristalizados. La recristalización se aprecia asimismo en los radiolarios que no fueron reemplazados por micrita y que conservan el sílice de la concha (en el Capítulo III se les ha considerado como “posibles” radiolarios), ya que se perdió toda estructura de ésta a causa de dicha recristalización. La matriz micrítica, por otro lado, tiende ocasionalmente a microespatita, en mayor proporción que en Calapa.

Posteriormente, la compactación ocasionó un primer proceso de presión-solución (*ps1*), que dio lugar a escasas microestilolitas paralelas a la estratificación. La abundancia y

el desarrollo de *ps1* en San Bernardino es más evidente que en Calapa, lo que se interpreta como una respuesta a las diferencias de microfacies existentes entre ambas localidades.

Estas microestilolitas también fueron aprovechadas por una impregnación de hidrocarburos pesados las más de las veces, y en ocasiones por hidrocarburos ligeros (*h1*) (Lámina VI, 5).

Una vez litificado el sedimento, la compactación propició el primer evento de fracturamiento (*f1*). Este provocó fracturas escasas, más o menos gruesas, con un patrón generalmente paralelo a la estratificación; las fracturas fueron rellenas a su vez por calcita (*rf1*).

El segundo evento de fracturamiento (*f2*) fue generado por tectonismo; este fracturamiento tiene un patrón variable, pero habitualmente forma ángulos pequeños con la estratificación; se trata de fracturas esencialmente gruesas.

Un tectonismo posterior dio origen, primeramente, al segundo proceso de presión-solución, que provocó una profusa microestilolitización, con un patrón tendiente a la perpendicularidad con respecto a la estratificación (*ps2*), igualmente con impregnaciones de hidrocarburos. A diferencia de Río Calapa, en San Bernardino es más abundante la presencia de *ps2*, así como fue mayor su desarrollo, esto debido posiblemente a las diferencias de microfacies mencionadas anteriormente.

Como en Calapa, los hidrocarburos aprovecharon también las fracturas de *f2* como mecanismo de migración (*h2*), manifestándose como impregnaciones y como relleno total o parcial de ellas (Lámina II, 7-8; VI, 6).

En seguida las fracturas de *f2* fueron rellenas por calcita (*rf2*).

Ese tectonismo subsecuentemente dio lugar al tercer evento de fracturamiento (*f3*), reflejado a través de fracturas gruesas en general con fracturas delgadas subordinadas; el relleno de estas fracturas fue también calcítico (*rf3*).

Es de notar que debido a la intensidad del fracturamiento, así como a la densidad de fracturas, no siempre resultó fácil determinar el patrón de los distintos eventos o el evento al que pertenecen las fracturas. Estas mismas condiciones de fracturamiento -intensidad y densidad- provocaron desprendimientos de fragmentos y de partículas que quedaron embebidas dentro de las fracturas más gruesas; además, el fracturamiento eventualmente

produjo texturas muy particulares: un conjunto de fracturas paralelas entre sí, al cambiar de dirección y entrecruzarse atraparon pequeñas porciones de la biomicrita resultando en una especie de lentes micríticos paralelos a la dirección de aquellas (SB-6, SB-6A y SB-9).

Por otro lado, el fracturamiento tuvo una mayor intensidad en esta localidad que en Calapa. Esto fue debido quizá a la presencia de intercalaciones arcillo-carbonatadas en Río Calapa, lo que conferiría cierta plasticidad a las rocas; así, el tectonismo produciría plegamiento (por demás notorio en esa localidad), más que un intenso fracturamiento.

• *Facies de pedernal*

Los pedernales en esta localidad sufrieron una diagénesis muy semejante a la que se ha documentado en aquellos del Río Calapa:

$$s \rightarrow re \rightarrow c \rightarrow ps1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow d1 \rightarrow de \rightarrow d2$$

Primeramente acaeció la silicificación temprana de los foraminíferos (*s*).

El segundo evento diagenético fue la recristalización del ópalo original de los esqueletos de los radiolarios (*re*), el cual recristalizó a cuarzo por lo general; aunque frecuentemente recristalizó a calcedonia, al igual que en Calapa.

Posteriormente, la compactación (*c*) que sufrieron estas rocas produjo los mismos efectos en las laminaciones de pedernal criptocristalino documentados para los pedernales de Río Calapa, es decir, el estrangulamiento de éstas que dio lugar a un microbudinado (SB-17 y SB-24).

Esta compactación provocó asimismo un proceso de presión-solución (*ps1*), que se refleja en la presencia de microestilolitas en los pedernales que tienen algún contenido del pedernal criptocristalino arriba mencionado. Al igual que en Río Calapa, *ps1* es sólo interpretado a partir de la laminación de este tipo de pedernal.

Los subsiguientes eventos: fracturamiento (*f1*, *f2* y *f3*) y relleno de fracturas (*rf1*, *rf2* y *rf3*), tuvieron efecto, por supuesto, en las mismas condiciones que aquellas de la facies carbonatada en esta localidad.

No fue posible determinar en esta facies el segundo proceso de presión-solución ni la migración de hidrocarburos reportados para la facies carbonatada; esto por las mismas causas que inhibieron una clara presencia de *psI*.

Posterior al relleno del tercer evento de fracturamiento tuvo lugar el reemplazamiento de sílice por dolomita (*d1*) la cual fue a su vez dedolomitizada (*de*) y por último una segunda dolomitización, igualmente muy incipiente (*d2*). Como se aprecia, el orden diagenético en estos reemplazos es el mismo de la facies pedernalosa de la localidad Calapa. Asimismo la severidad de los reemplazos por carbonatos originó *horizontes de intenso reemplazamiento* en estos pedernales (SB-20A, SB-22, SB-24, SB-29, SB-31 y SB-32). Una semejanza más con la facies pedernalosa de Río Calapa, es la presencia de cristales de dolomita, parcial o totalmente dedolomitizada, a lo largo de los contactos entre las facies biomicríticas y pedernalosas (SB-16, SB-17, SB-22, SB-29 y SB-31).

Sin embargo, la intensidad de estos reemplazamientos (*d1*, *de* y *d2*) es ligeramente menor en San Bernardino que en Calapa.

También en esta localidad, la ausencia de los eventos diagenéticos en la facies carbonatada, documentados para la facies de pedernal, se debe a que estos procesos responden esencialmente a la propia litología de ambas facies (tabla 10, p. 74)⁸.

En lo que respecta a la preservación de los microfósiles, se encontraron los mismos tipos establecidos para los pedernales de Calapa, con las siguientes variaciones: no se observó el Tipo V -como se dijo anteriormente éste es exclusivo de la localidad Calapa-; en el caso del Tipo III, sólo se encontró en radiolarios y es además raro, esto se debe sin embargo, al bajo contenido de pedernal criptocristalino en esta localidad, más que a la diagénesis; el Tipo IV se observó sólo con poca frecuencia. Los tipos I y II empero no acusan diferencia alguna con lo encontrado en Calapa.

⁸ **Tabla 10:** Nod Qz: nódulos de cuarzo. Tex Bu: textura budinada. Recris: recristalización en calizas (intensidad: B: baja, M: moderada, A: alta). HoReTo: horizontes de intenso reemplazamiento. Silici: silicificación. Dolomi: dolomitización. Dedolo: dedolomitización. Ho Rem: horizontes de reemplazamiento. MicEst: microestilolitización. #Ge ME: número de generaciones de microestilolitas (1 y 2). Pre Fs: tipo de preservación de microfósiles (radiolarios y foraminíferos) en pedernales (I, II, III y IV). Fra In: intensidad de fracturamiento (B: baja, M: moderada, A: alta). Fra Ev: # de evento de fracturamiento. Fra Re: relleno de fracturas (C: calcita).

- Localidad Sierra de Miahuatepec

• Facies Carbonatada

La paragénesis en esta facies muestra claras diferencias a partir del fracturamiento, con respecto a la facies correspondiente de las localidades anteriores; así, ésta puede expresarse de la siguiente forma: "

$$m \rightarrow c \rightarrow r \rightarrow ps1 \rightarrow hl \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow si \rightarrow d \rightarrow cd \rightarrow rcd$$

De esta manera, el primer evento diagenético fue el reemplazo por micrita de los radiolarios (*m*), considerado del mismo modo que en las localidades anteriores.

El segundo evento fue la compactación (*c*) que provocó la recristalización de estas rocas (*r*), sobre todo hacia la base de la secuencia (SM-1). También en esta localidad la recristalización fue mayor que en Calapa y aún mayor que en San Bernardino, y particularmente notoria en los fragmentos de equinodermos, ya que estos sólo conservan su textura original hacia el centro de ellas, en la periferia estos fragmentos fueron totalmente recristalizados (SM-1, SM-3 y SM-4).

La compactación causó, a su vez, un proceso de presión-solución que dio como resultado microestilolitas, y presión-solución intergranular y en torno a algunas partículas (*ps1*). La relación entre estas microestilolitas y el fracturamiento no se observó, a pesar de ello se considera que estos efectos de presión-solución son anteriores a todo el fracturamiento ya que al no cortar las microestilolitas a ninguna fractura, es de suponer que se desarrollaron cuando la roca no había sufrido fracturamiento alguno.

En esta localidad, *ps1* guarda mayor similitud con la facies carbonatada de Río Calapa, ya que el desarrollo de estas microestilolitas fue mínimo. Si bien en Miahuatepec esta presión-solución es más común que se manifieste bordeando las partículas, como respuesta a la diferencia de microfacies.

Las microestilolitas están aquí igualmente impregnadas de hidrocarburos (*hl*).

El fracturamiento pertenece a tres eventos, lo cual no siempre fue posible de establecer; asimismo el patrón de estos eventos es muy variable y no muestra una tendencia definida. El relleno de todas las fracturas fue calcítico.

Tabla 10. Diagénesis de la localidad San Bernardino Lagunas.

N ^o Mtra.	N o d e x c e l e n t e s	T e r c e r o	R e c o r d e s	H o r i z o n t e s	S e c u n d a r i o s	D e c i m o s	D e c i m o s	H e r m i t i c o s	M e m b r a n a s	# G e n e r a l e s	P e r c e n t a j e s	F a c t o r e s	F a c t o r e s	F a c t o r e s	F a c t o r e s
	O z o	B u s o	T e r c e r o	S e c u n d a r i o n t e s	S e c u n d a r i o n t e s	S e c u n d a r i o n t e s	S e c u n d a r i o n t e s	S e c u n d a r i o n t e s	S e c u n d a r i o n t e s	M e m b r a n a s	F a c t o r e s	F a c t o r e s	F a c t o r e s	F a c t o r e s	F a c t o r e s
SB-31A		X	M						X	1			B	2	C
*SB-31				X	X	X	X	X	X	2	I II III IV?		A	3	C
*SB-32		X		X	X	X	X		X	2	I II		A	3	C
SB-30			M						X	2			M	3	C
*SB-29				X	X	X	X	X	X	1	I II III IV		A	3	C
SB-29			M A						X	1					
SB-28			M A		X	X	X		X	1	I II III		M	3	C
SB-27			A	X	X	X	X		X	2	I II III? IV		M	2	C
SB-25			M A		X	X	X	X	X	2	I II III IV		A	3	C
*SB-24		X		X	X	X	X		X	1	I II III IV		A	3	C
*SB23A				X	X	X	X		X	1	I II IV		A	3	C
SB-23	X		M			?	?		X	2			A	3	C
*SB-22				X	X	X	X	X	X	1	I II III IV		A	3	C
SB-21	?	X	A		X	X	X		X	1	I II		M	2	C
*SB20A				X	X	X	X		X	1	I II IV		A	3	C
SB-20			M						X	2			A	3	C
SB-19			A						X	2			M A	3	C
*SB18A				X	X	X	X	X	X	1	I II IV		A	?	C
SB-18			A						X	1			M	2	C
SB-17			M						X	1			B	?	C
*SB-17				X	X	X	X	X	X	1	I II III IV		A	3	C
*SB-16		X		X	X	X	X	X	X	1	I II		A	3	C
SB-16			A						X	1			A		C
*SB-15				X	X	X	X	X	X	1	I II III IV?		M	3	C
SB-15			M A						X	1			M	3	C
SB-14			M A						X	2			A	3	C
SB-13			A						X	2			A	3	C
??? SB-12															
SB-11			A						X	2			A	3	C
SB-10			M A		X		X	X	X	2			A	3	C
SB-9			A						X	2			A	3	C
SB-8A			A						X	1			A	2	C
SB-8			M A						X	2			A	2	C
SB-7			A						X	2			M	2	C
SB-6A			M A						X	1			A	3	C
SB-6			M A						X	1			A	3	C
SB-5			A						X	1			A	3	C
SB-4A			M A						X	2			A	3	C
SB-4			M A						X	1			M A	3	C
SB-3			M A						X	2			A	3	C
SU-2			M A						X	2			A	3	C

De la misma manera, *ps2* no se aprecia en Miahuatepec, debido posiblemente a la misma causa: las diferencias de microfacies; la migración de hidrocarburos (*h2*) no tuvo lugar en esta localidad, quizá por la misma razón.

El siguiente evento fue una silicificación parcial que sufrieron los fragmentos de rudistas (*si*), aunque ésta no fue intensa.

Posterior a la silicificación, esta facies fue afectada por una dolomitización (*d*) parcial que se refleja tanto en la matriz como en las partículas y en menor grado en el relleno de las fracturas, las cuales fueron primeramente rellenas por calcita. En ocasiones los cristales de dolomita formaron horizontes (SM-4).

Por otro lado, en SM-5 se apreció una ligera dedolomitización parcial, pero esto no pudo corroborarse en las demás muestras, lo que sugiere sólo un incipiente proceso local.

El siguiente evento fue el desarrollo de cavidades de disolución (*cd*), que se formaron sobre todo en las microfacies de depósitos turbidíticos.

El último evento diagenético en esta facies fue el relleno de las cavidades de disolución (*rcd*), las cuales fueron rellenas por sílice, y ocasionalmente (SM-2) por calcita.

Como se puede apreciar, a partir de la silicificación de rudistas, en esta facies están presentes eventos diagenéticos totalmente ajenos a Calapa y San Bernardino. Empero antes de producirse estos, la paragénesis resulta ser la misma en todas las localidades, lo que sugiere que los últimos eventos en la paragénesis de Miahuatepec son procesos de carácter meramente local, y son debidos posiblemente a la diferencia de microfacies así como a la presencia de aguas alcalinas posteriores al último evento de fracturamiento.

• Facies de pedernal

La diagénesis que se ha referido para las facies pedernalosas de las localidades anteriores es la misma que afectó a esta facies, acaso con menor intensidad en alguno de los eventos.

Así, la paragénesis en la facies pedernalosa puede expresarse como sigue:

$$s \rightarrow re \rightarrow c \rightarrow ps1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow d1 \rightarrow de \rightarrow d2$$

Primero acaeció la silicificación temprana de los foraminíferos (*s*).

Más tarde tuvo lugar la recristalización del ópalo original de los esqueletos de los radiolarios (*re*), el cual recristalizó a cuarzo, por lo general, aunque frecuentemente recristalizó a calcedonia.

El siguiente evento fue la compactación (*c*), que provocó el microbudinado en los pedernales (*ps1*).

Los subsiguientes eventos: fracturamiento (*f1, f2 y f3*) y relleno de fracturas (*rf1, rf2 y rf3*), tuvieron efecto en las mismas condiciones que aquellas de la facies carbonatada en esta localidad.

No se observó tampoco en esta facies la presencia de *ps2* ni de *h2*.

Posterior al relleno del tercer evento de fracturamiento tuvo lugar el reemplazamiento de sílice por dolomita (*d1*) la cual fue a su vez dedolomitizada (*de*) y por último una segunda dolomitización (*d2*), muy incipiente por lo demás. Asimismo, la severidad de los reemplazos por carbonatos originó *horizontes de intenso reemplazamiento* en estos pedernales. Igualmente se aprecia la presencia de cristales de dolomita, parcial o totalmente dedolomitizada, a lo largo de los contactos entre las facies biomicríticas y pedernalosas.

También en Miahuatepec, la ausencia de los eventos diagenéticos en la facies carbonatada, documentados para la facies de pedernal, se debe a que estos procesos responden esencialmente a la propia litología de ambas facies.

En cuanto a los tipos de preservación de los microfósiles, en Miahuatepec el tipo V de preservación está ausente, además, el tipo IV de preservación predomina por encima de los otros tipos a consecuencia de la menor intensidad en estos reemplazamientos⁹.

⁹ **Tabla 11:** *Recrista:* recristalización en calizas (intensidad: B: baja, M: moderada, A: alta). *Ho Re To:* horizontes de reemplazamiento casi total. *Silicif:* silicificación. *Dolomit:* dolomitización. *Dedolom:* dedolomitización. *Hor Remp:* horizontes de reemplazamiento. *MicEstil:* microestilolitización. *# Gen ME:* número de generaciones de microestilolitas. *Pres Fos:* tipo de preservación de microfósiles (radiolarios y foraminíferos) en pedernales (I, II, III y IV). *Fract Int:* intensidad de fracturamiento (B: baja, M: moderada, A: alta). *Frac Ev:* # de eventos de fracturamiento. *Frac Rel:* relleno de fracturas (C: calcita)

Tabla 11. Diagénesis de la localidad Miahuatepec.

No. Mitr.	R	H	S	D	D	H	M	#	P	F	F	F
	C	O	A	O	O	O	E	C	C	C	C	C
	R	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	A	O										
SM-8A	M			X				1		B	?	C
*SM-8			X	X	X			1	I II III IV V	A	3	C
SM-7	M			X			X	1		M	3	C
SM-6	M			X				1		A	3	C
SM-5	M			X	X		X	1		B	2	C
*SM-4A		X	X	X	X	X		1	I II III IV	A	3	C
SM-4	M			X		X	X	1		B	?	C
SM-3	A			X				1		A	3	C
SM-2	M			X			X	1		B	?	C
SM-1	A			X				?		M	3	C

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

La secuencia estudiada se designa bajo la nomenclatura ampliamente aceptada de *Formación Tamaulipas Superior*, la cual se considera compuesta por una facies carbonatada y una facies pedernalosa.

La facies pedernalosa consiste de pedernales microcristalinos y criptocristalinos de radiolarios recristalizados y foraminíferos planctónicos silicificados.

Se distinguen cuatro microfacies en la facies pedernalosa: *microfacies pedernalosa microcristalina normal*, *microfacies pedernalosa microcristalina fina*, *microfacies pedernalosa microcristalina gruesa* y *microfacies pedernalosa criptocristalina*.

La facies carbonatada está constituida, en las localidades Calapa y San Bernardino, por biomicritas de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, principalmente. En la localidad Miahuatepec está constituida por biomicritas y depósitos turbidíticos.

En Río Calapa la Formación Tamaulipas Superior sobreyace transicionalmente a rocas del Albiano Temprano.

En la localidad San Bernardino Lagunas por otra parte, la secuencia descansa en discordancia erosional sobre la Formación Chivillas Superior del Hauteriviano-Aptiano Inferior.

En la localidad Miahuatepec el contacto inferior con la Formación Zapotitlán del Barremiano es por falla.

En ninguna de las secciones estudiadas aflora el contacto superior de la Formación Tamaulipas Superior.

La Formación Tamaulipas Superior en las localidades Calapa y Miahuatepec es asignada a las Zonas K-14 a K-16 (Albiano Temprano-Vraconiano Temprano), establecidas por Longoria (1984). Esto se define, en Río Calapa, por la presencia de Ticinella bejaouaensis y por la primera aparición de Thalmaninella ticinensis,

respectivamente. Y en Miahuatepec por la presencia de Favusella scitula? y por la primera aparición de Th. ticinensis, respectivamente.

En la localidad San Bernardino la secuencia es asignada a las Zonas K-14? a K-17 (Albiano Temprano?-Vraconiano Tardío), con base en la presencia de Ticinella bejaouaensis? y por la primera aparición de Thalmaninella appenninica, respectivamente.

En las localidades Calapa y San Bernardino la Formación Tamaulipas Superior corresponde a una facies de margen de cuenca (FZ 3), con cambios esporádicos a una facies de cuenca (FZ 1).

El depósito de esta unidad en la localidad Miahuatepec se produjo en facies de margen de cuenca (FZ 3), con cambios periódicos a facies de talud (FZ 4).

De acuerdo con el modelo paleogeográfico de la Cuenca del Golfo de México, las facies de cuenca se continúan hacia el occidente de la Plataforma de Córdoba, dentro de lo que correspondería a la Cuenca de Zongolica.

La paragénesis encontrada para la facies carbonatada en las localidades Calapa y San Bernardino es la siguiente:

$$m \rightarrow c \rightarrow r \rightarrow ps1 \rightarrow h1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow ps2 \rightarrow h2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3$$

En la localidad Miahuatepec la paragénesis presenta algunas variaciones debido muy posiblemente a la diferencia de microfacies, y a la circulación de aguas alcalinas posteriores al último evento de fracturamiento:

$$m \rightarrow c \rightarrow r \rightarrow ps1 \rightarrow h1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow si \rightarrow d \rightarrow cd \rightarrow rcd$$

La paragénesis de la facies pedernalosa fue la misma en las tres localidades:

$$s \rightarrow re \rightarrow c \rightarrow ps1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow d1 \rightarrow de \rightarrow d2$$

Las superficies estilolíticas en la Formación Tamaulipas Superior funcionaron como vías de migración de hidrocarburos durante el segundo evento de fracturamiento.

BIBLIOGRAFIA

- ALZAGA, R. H. 1987. Proyecto Azumbilla, Pue. I. M. P. (Inédito). 89 p.
- 1989. Origen de la Formación Chivillas y Presencia del Jurásico Tardío en la Región de Tehuacán, Puebla, México. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. V. XXI, No. 1, p.p. 5-15.
- AVELLANEDA, C. R. y otros. 1987. Estudio Geológico del Area Tehuacán-Ixcaquixtla, Estado de Puebla, México. Tesis Profesional. ESIA. I. P. N. 68 p.
- BARCELO, D. J. 1978. Estratigrafía y Petrografía Detallada del Area de Tehuacán-San Juan Raya, Edo. de Puebla. Tesis Profesional. F I U. N. A. M. 136 p.
- BARRIENTOS, R. A. 1985. Estudio Geológico Regional de una Porción de la Sierra Mazateca, Valle de Tehuacán y Sierra de Atzingo. Tesis Profesional. ESIA. I. P. N. p. p. 80.
- BELT, B. C. 1925. Stratigraphy of the Tampico District of Mexico. Bulletin American Association Petroleum Geologists, V. 9, No. 1, pp. 136-144.
- BERMUDEZ, S. J. 1987. Estudio Geológico Estructural de la Región de Los Reyes Metzontla y Cultepec, Puebla. Tesis Profesional. ESIA. I. P. N. p.p. 188.
- BILAL, U. H. and Boersma, A. 1978. Introduction to Marine Micropaleontology. Elsevier North-Holland Inc. E. U. A. pp. 1-79.
- CALDERON, G. A. 1956. Bosquejo Geológico de la Región de San Juan Raya, Pue. XX Congreso Geológico Internacional, México. Guía Excursión A-11, p.p. 9-27.
- FLÜGEL, E. 1982. Microfacies Analysis of Limestones. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, N. Y., U. S. A. 589 p.
- LOEBLICH, A. R., Jr. and TAPPAN, H. 1988. Foraminiferal Genera and their Classification. Van Nostrand Reinhold, N. Y. 847 plates.

- LONGORIA, T. J. F. 1972. Stratigraphic, Morphologic and Taxonomic Studies of Aptian Planktonic Foraminifera. The University of Texas at Dallas. (Tesis Doctoral). 287 p.
- 1975. Estratigrafía de la Serie Comancheana del Noreste de México. Bol. Soc. Geol. Mexicana. Tomo XXXVI, p.p. 31-59.
- 1977a. Bioestratigrafía del Cretácico Inferior Basada en Microfósiles Planctónicos. Bol. Soc. Geol. Mexicana, Tomo XXXVIII, No. 1 p.p. 2-17.
- and GAMPER, M. A. 1977b. Albian Planktonic Foraminifera from the Sabinas Basin of Northern Mexico. Journal of Foraminiferal Research, V. 7, No. 3, pp. 196-215.
- y DAVILA, V. M. 1979. Estratigrafía y Microfacies del Cerro de la Silla, SE de Monterrey. Bol. Dpto. Geol. Uni-Son, V. 2, No. 1, p.p. 65-95.
- 1984. Cretaceous Biochronology from the Gulf of Mexico Region Based on Planktonic Microfossils. Micropaleontology, V. 30, No. 3, pp. 225-242.
- MARSHALL, D. J. 1988. Cathodoluminescence of Geological Materials. Unwin Hyman, London. 128 p.
- MUIR, J. M. 1936. Geology of the Tampico Region Mexico. American Association of Petroleum Geologists. 280 p.
- PANO, A. A. 1972. Informe Geológico Final, Prospecto Tehuacán. PEMEX. 86 p.
- PATIÑO, H. J. A. 1978. Estudio Geológico de la Cuenca de Zongolica en el Area: Calipa-Tepexilotla, Estado de Puebla. Tesis Profesional. ESIA. I. P. N. 63 p.
- PESSAGNO, J. F. and NEWPORT, R. L. 1972. A Technique for Extracting Radiolaria from Radiolarian Cherts. Micropaleontology, V. 18, No. 2, pp. 231-234.
- PICKERING, K. T. *et al.* 1989. Deep-Marine Environments. Unwin Hyman, London. 415 p.
- ROSS, M. A. and McNULTY, C. L. 1981. Some Microfossils of the Tamaulipas Limestone (Hauterivian-Lower Albian) in Santa Rosa Canyon, Sierra de

Santa Rosa, Nuevo León, México. Supplement to Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies, V. XXXI, pp. 461-469.

- SALVADOR, A. 1991. The Gulf of Mexico Basin. The Geology of North America. Department of Geological Sciences. The University of Texas, V. J. 549 p.
- SCHOLLE, P. A. 1978. A Color Illustrated Guide to Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements, and Porosities. A. A. P. G. Memoir 27. 233 p.
- SLITTER, W. V. 1989. Biostratigraphic Zonation for Cretaceous Planktonic Foraminifers Examined in Thin Section. Journal of Foraminiferal Research. V. 19. No. 1. p. 1-19.
- TORIZ, G. J. 1984. Informe Final, Prospecto Chapulco-Atzompa. PEMEX. 61 p.
- VAZQUEZ, P. J. A. 1973. Estudio Geológico de Detalle Estratigráfico del Area de Zongolica, Ver. Tesis Profesional. ESIA. I. P. N. 68 p.

APPENDICE PETROGRAFICA

LOCALIDAD CALAPA

Formación Tamaulipas Superior

- Facies carbonatada

En esta facies de Río Calapa es frecuente la presencia de hematita, y en ocasiones de pirita, diseminada. Los foraminíferos planctónicos son comunes como cámaras sueltas, los fragmentos de moluscos son pequeños, y de pelecípodos. La recristalización es moderada. La diseminación de hidrocarburos es escasa.

La paragénesis en las calizas de esta localidad es la misma:

$$m \rightarrow c \rightarrow r \rightarrow ps1 \rightarrow h1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow ps2 \rightarrow h2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3$$

No. de muestra: T-1

Biomícrita (wackestone-packstone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita, foraminíferos planctónicos y fragmentos de ostrácodos, con frecuentes fragmentos de equinodermos y fragmentos muy escasos de moluscos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sigali, H. delrioensis, H. planispira, H. hispaniae, H. infracretacea, H. similis, H. trocoidea, Globigerinelloides ferreolensis, G. aptiense, G. duboisi, G. macrocameratus, y Caucasella sp.

Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Microestilolitas rellenas de hidrocarburos.

No. de muestra: T-9A

Biomícrita (wackestone-packstone bioclástico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con erráticos fragmentos de equinodermos. SMFT: 3. FZ: 1.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-11A

Biomicrocristal (wackestone-packstone bioclastico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con foraminíferos bentónicos, fragmentos de equinodermos y raras calcisferas. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. sigali, H. delrioensis, H. planispira, H. semielongata, H. roblesae, H. similis, Caucasella sp., Globigerinelloides sp., G. aptiense, G. ferreolensis, G. duboisi, G. saundersi, G. sigali, G. maridalensis, G. blowi, G. algerianus, G. cepedai, y Ticinella practicinensis (Longoria, comunicación personal).

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-12B

Biomicrocristal (packstone bioclastico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, con calcisferas, fragmentos de equinodermos, y erráticos fragmentos de moluscos, ostrácodos y foraminíferos bentónicos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Caucasella sp., Hedbergella sigali, H. gorbachiki, H. planispira, H. luterbacheri, H. excelsa, H. trocoidea, Globigerinelloides ferreolensis, G. barri, G. algerianus, G. macrocameratus, G. aptiense y Thalmaninella ticinensis. Además de secciones de Stomiosphaera sphaerica, Pithonella sp., y Calcisphaerula sp.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-13

Biomicrocristal (packstone bioclastico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con esporádicos fragmentos de equinodermos y de ostrácodos, raras calcisferas y foraminíferos bentónicos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella planispira, H. luterbacheri, Caucasella sp., Globigerinelloides ferreolensis, G. duboisi, G. algerianus, y G. macrocameratus. Además de Stomiosphaera sp.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-13A

Biomicro (packstone bioclástico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con foraminíferos bentónicos, frecuentes calcíferas y escasos fragmentos de equinodermos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sigali, H. gorbachiki, H. semielongata, H. infracretacea, H. trocoidea, Caucasella sp., Globigerinelloides ferreolensis, G. algerianus, G. duboisi, y Thalmaninella cf. ticinensis (Longoria, com. pers.) y de Stomiosphaera sphaerica.

Comunes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-17A

Biomicro (packstone-grainstone bioclástico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con frecuentes fragmentos de equinodermos y erráticos fragmentos de moluscos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella trocoidea, Caucasella sp., Globigerinelloides duboisi, G. macrocameratus, G. ferreolensis, G. barri, Ticinella bejaouaensis y Thalmaninella ticinensis.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-4

Biomicro (packstone-grainstone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos bentónicos, peloides comunes y fragmentos de ostrácodos, con frecuentes foraminíferos planctónicos y fragmentos de moluscos, escasos fragmentos de equinodermos y raras calcíferas. SMFT: 2. FZ: 3.

Se observaron secciones de Favusella sp., Globigerinelloides barri, G. ferreolensis, Thalmaninella ticinensis, Planomalina sp., y Hedbergella luterbacheri.

Presión-solución intergranular, con relleno de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-4A

Biomicro (wackestone-packstone biocástico) de foraminíferos planctónicos, con radiolarios reemplazados por micro, frecuentes fragmentos de moluscos y escasos fragmentos de equinodermos y de ostrácodos, y raras calcíferas. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. luterbacheri, H. occulta, H. gorbachiki, H. delrioensis, H. roblesae, H. labocaensis, H. trocoidea, Caucasella sp., Favusella sp., Ticinella sp., Thalmaninella ticinensis y Globigerinelloides ferreolensis.

Presión-solución interpartícula y microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-3B

Biomicro (wackestone-packstone biocástico) de radiolarios reemplazados por micro y foraminíferos planctónicos; con escasos fragmentos muy pequeños de equinodermos, erráticos fragmentos de ostrácodos y calcíferas, raros fragmentos de moluscos (pelecípodos) y foraminíferos bentónicos. SMFT: 1 y 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella luterbacheri, H. planispira, H. trocoidea y Globigerinelloides ferreolensis.

Presión-solución con relleno de hidrocarburos. Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-3A

Biomicro (packstone-grainstone biocástico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micro; con frecuentes peloides, escasos ostrácodos, foraminíferos bentónicos (fragmentados) y fragmentos de equinodermos, erráticos fragmentos de moluscos y raras calcíferas. SMFT: 2 y 3. FZ: 3.

Se observaron secciones de Hedbergella delrioensis, H. planispira, H. trocoidea, H. labocaensis, H. gorbachiki, Caucasella sp., Favusella sp., Globigerinelloides ferreolensis, y G. barri.

Presión-solución intergranular y microestilolitas rellenos de hidrocarburos. Fracturamiento débil; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: **MG-2**

Biomicrota (wackestone-packstone bioclástico) de foraminíferos planctónicos, con radiolarios reemplazados por microta y escasos fragmentos de moluscos, erráticas calcíferas, fragmentos de ostrácodos y de equinodermos. SMFT: 1. FZ: 1.

Se encontraron secciones de Hedbergella planispira, H. luterbacheri, H. occulta, Globigerinelloides barri, G. ferreolensis, y Caucasella sp.

Fracturamiento moderado; fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: **T-18A**

Biomicrota (wackestone bioclástico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por microta, con foraminíferos bentónicos, y escasos ostrácodos y fragmentos de equinodermos. SMFT: 2. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. planispira, H. luterbacheri, H. delrioensis, H. roblesae, H. occulta, H. similis, H. trocoidea, H. gorbachiki, H. labocaensis, H. sigali, Caucasella sp., Favusella sp., Ticinella sp., Globigerinelloides sp., G. maridalensis, G. ferreolensis, G. algerianus, G. barri, G. aptiense, G. duboisi, y Thalmaninella ticinensis.

Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

- Facies pedernalosa

En todos los pedernales de Río Calapa el pedernal criptocristalino se da en laminaciones (dando el aspecto microbudinado al pedernal debido a la compactación, ver Cap. V), diseminaciones y como relleno de microfósiles.

La paragénesis en los pedernales de todas las localidades estudiadas es la misma:

$s \rightarrow re \rightarrow c \rightarrow ps1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow d1 \rightarrow de \rightarrow d2$

No. de muestra: T-2

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Laminaciones de pedernal microcristalino de cristalinidad fina y de cristalinidad gruesa. Pedernal criptocristalino común. Presencia de *horizontes de intenso reemplazamiento*.

Se encontraron secciones de Hedbergella sigali, H. delrioensis, H. trocoidea, H. luterbacheri, H. similis, H. planispira, Caucasella sp., y Globigerinelloides aptiense.

Fracturamiento moderado a intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-3

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Pedernal criptocristalino común.

Se encontraron secciones de Caucasella sp., Globigerinelloides sp., Hedbergella sp., H. sigali, y H. delrioensis.

Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-4

Pedernal microcristalino laminado, con abundantes foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios; laminaciones: diferencias en la cristalinidad del pedernal. Pedernal criptocristalino común. Presencia de *horizonte de intenso reemplazamiento*.

Se encontraron secciones de Hedbergella sigali, H. delrioensis, H. planispira, H. luterbacheri, H. trocoidea, Globigerinelloides ferreolensis, G. duboisi, Caucasella sp., y Ticinella bejaouaensis?

Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-5

Pedernal microcristalino de radiolarios, con frecuentes foraminíferos planctónicos silicificados. Pedernal criptocristalino común. Hay parches de *intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-6

Esta muestra está constituida por diversos horizontes litológicos. En la base se observa una biomicrita de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita. Pasa a un *horizonte de intenso reemplazamiento*, y éste a un pedernal microcristalino, de cristalinidad gruesa, de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. De ahí pasa a un horizonte biomicrítico, de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos.

Se encontraron secciones de: Hedbergella sigali y Caucasella sp.

Frecuentes microestilolitas; dos generaciones. Fracturamiento escaso; fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-7

Pedernal microcristalino de radiolarios, con foraminíferos planctónicos silicificados. Pedernal criptocristalino común. Presenta parches de cristalinidad más fina y parches de *intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-7A

Pedernal microcristalino de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Abundante pedernal criptocristalino. Laminaciones de cristalinidad más fina en el pedernal, y parches de *intenso reemplazamiento*.

Se encontraron secciones de Hedbergella planispira, H. similis, H. gorbachiki, H. delrioensis, H. luterbacheri, H. trocoidea, Caucasella sp., y Globigerinelloides algerianus.

Fracturamiento moderado a intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-8

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Pedernal criptocristalino común.

Se encontraron secciones de Hedbergella sigali, Caucasella sp., Globigerinelloides aptiense, y G. ferreolensis.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-9

Pedernal microcristalino con un bajo contenido de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Pedernal criptocristalino escaso.

En la cima y en la base un horizonte biomicrítico de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos. Se encontró una sección de Globigerinelloides ferreolensis.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Fracturas del segundo evento con impregnación de hidrocarburos producto de migración anterior a ese fracturamiento.

No. de muestra: T-10

Pedernal microcristalino de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Laminaciones de diferente cristalinidad. Abundante pedernal criptocristalino. Presenta un *horizonte de intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-11

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Abundante pedernal criptocristalino.

En la base, un horizonte biomicrítico de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con calcisferas, raros ostrácodos y fragmentos de equinodermos. Se encontraron secciones de Globigerinelloides ferreolensis.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-12A

Pedernal microcristalino de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Abundante pedernal criptocristalino.

Se encontró una sección de Hedbergella planispira.

Fracturamiento moderado a intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-14

Pedernal microcristalino con un alto contenido de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Pedernal criptocristalino común. Hay un parche de *intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-15

Pedernal microcristalino laminado con un alto contenido de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Laminaciones de pedernal criptocristalino.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides barri, G. macrocameratus, Hedbergella labocaensis.

Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-16

Pedernal microcristalino de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Pedernal criptocristalino común. Se observa un parche de *intenso reemplazamiento*.

Se encontraron secciones de Hedbergella luterbacheri y Globigerinelloides algerianus.

Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-17

Pedernal microcristalino de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios. Pedernal criptocristalino común.

En la cima, un horizonte biomicrítico de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita.

Se encontraron secciones de Hedbergella similis, H. planispira, Globigerinelloides barri, G. ferreolensis y Thalmaninella ticinensis.

Fracturamiento moderado, dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-3

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados.

Pedernal criptocristalino común.

Fracturamiento moderado a intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-2A

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados.

Cambios de microfacies a cristalinidad muy fina. Pedernal criptocristalino común.

Presencia de *horizontes de intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento débil; fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: MG-1

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados.

Pedernal criptocristalino común.

Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: T-18

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados.

Pedernal criptocristalino común.

Se encontraron secciones de Hedbergella luterbacheri, H. trocoidea, H. planispira, H. delrioensis, H. occulta, Favusella sp., Caucasella sp., Globigerinelloides ferreolensis, G. algerianus, y Thalmaninella ticinensis.

En la cima, un horizonte de biomicrita de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita.

Fracturamiento intenso, tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

Secuencia del Albiano Temprano

No. de muestra: P-5

Biomicro (packstone bioclástico) de fragmentos (muy pequeños) de rudistas y radiolarios reemplazados por micro, con foraminíferos planctónicos, foraminíferos bentónicos, fragmentos de pelecípodos y de equinodermos, y ostrácodos; intraclastos micro, partículas de cuarzo y raros ooides. Raramente se observan fragmentos de braquiópodos, de algas y calcisferas.

Se encontraron secciones de Favusella nitida (Longoria, com. pers.), Favusella sp., Lenticulina sp. y Globigerinelloides ferreolensis.

Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: P-5A

Biomicro (packstone bioclástico) con un alto contenido de equinodermos, fragmentos de moluscos, radiolarios reemplazados por micro, foraminíferos planctónicos, foraminíferos bentónicos (fragmentados), peloides e intraclastos; raras partículas de cuarzo, fragmentos de briozoarios, ostrácodos y pisolitos.

Se encontraron secciones de Hedbergella sigali, H. planispira, H. gorbachiki, Caucasella hoterivica, Favusella scitula; Lenticulina sp e Inoceramus sp.

Fracturamiento poco intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: P-5B

Biomicro (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micro y ostrácodos, con foraminíferos planctónicos y algunos foraminíferos bentónicos, y raros fragmentos de moluscos.

Se observaron secciones de Hedbergella sp., H. sigali, H. delrioensis, y Shackoina sp. Además de alguna sección de Raxella sp.

Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: Cala-2

Pedernal microcristalino de foraminíferos planctónicos silicificados y radiolarios.

Pedernal criptocristalino común (en la misma forma que en los pedernales de la Formación Tamaulipas Superior). Laminaciones de diferente cristalinidad del pedernal.

Se observaron secciones de Hedbergella planispira, H. occulta, Globigerinelloides ferreolensis, y Caucasella sp.

Idéntica paragénesis a la de la Formación Tamaulipas Superior.

Hacia la base, un horizonte biomicrítico de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita.

Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

Volcánico

No. de muestra: Km-82

Basalto de Olivino constituido por matriz de microlitos de plagioclasa cálcica, con abundantes cristales de olivino, euedrales y anedrales, piroxenos de tamaño muy pequeño; en una textura subofítica. Olivino parcialmente alterado a Iddingsita y a óxidos de hierro. Hematita y limonita comunes. Clorita abundante. Sericita frecuente.

Fracturamiento moderado; fracturas rellenas de calcita.

LOCALIDAD SAN BERNARDINO LAGUNAS

Formación Tamaulipas Superior

- Facies carbonatada

En esta localidad la recristalización fue más intensa que en Calapa. Los foraminíferos planctónicos son comunes como cámaras sueltas, los fragmentos de moluscos son pequeños, principalmente de pelecípodos. La recristalización es mayor en esta localidad. La paragénesis es la misma de la facies correspondiente en Calapa. Aquí es más común la escasa impregnación de hidrocarburos, presente en toda la facies.

No. de muestra: SB-2

Biomicro (wackestone bioclástico) con abundantes fantasmas de foraminíferos planctónicos, frecuentes radiolarios reemplazados por micrita y escasos fragmentos de equinodermos, erráticas partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 1.

Comunes microestilolitas rellenas de hidrocarburos; dos generaciones. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-3

Biomicro (wackestone-packstone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita, con fragmentos de foraminíferos bentónicos, fantasmas de foraminíferos planctónicos, y escasos fragmentos de equinodermos y de moluscos, frecuentes partículas de cuarzo. SMFT: 2,3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides ferreolensis y G. gottisi?

Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos; dos generaciones. Migración de hidrocarburos asociada (anterior) al segundo evento de fracturamiento. Fracturamiento intenso; tres eventos, las fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-4

Biomicro (packstone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita, con peloides, foraminíferos bentónicos y planctónicos, escasos fragmentos de equinodermos y raros fragmentos de moluscos (pelecípodos), abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 2. FZ: 3.

Se encontraron secciones de: G. barri y Ticinella bejaouaensis?

Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Las fracturas del segundo evento están impregnadas por hidrocarburos.

No. de muestra: SB-4A

Biomicro (wackestone-packstone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita, con fantasmas de foraminíferos planctónicos y bentónicos, peloides y fragmentos

de equinodermos poco frecuentes, raros fragmentos de moluscos y de ostrácodos, abundantes partículas de cuarzo, y de micas (muscovita?) muy pequeñas. SMFT: 2, 3. FZ: 3.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos; dos generaciones. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-5

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado), de radiolarios reemplazados por micrita y fantasmas de foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos; raros fragmentos de moluscos, de foraminíferos bentónicos y de ostrácodos. Escasas partículas de cuarzo muy pequeñas. SMFT: 3. FZ: 1.

Se encontraron secciones de Favusella sp?, Hedbergella roblesae y Globigerinelloides ferreolensis.

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-6

Biomicrocristal (wackestone bioclástico) de fantasmas de foraminíferos planctónicos (?), y radiolarios reemplazados por micrita; abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 1.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Fracturas del segundo evento con impregnación de hidrocarburos.

No. de muestra: SB-6A

Biomicrocristal (wackestone bioclástico) de fantasmas de foraminíferos planctónicos (?), y radiolarios reemplazados por micrita; abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 1.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Fracturas del segundo evento con impregnación de hidrocarburos.

No. de muestra: SB-7

Biomicrita recristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) de fantasmas de radiolarios reemplazados por micrita y de foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos; abundantes partículas de cuarzo; raros peloides. SMFT: 3. FZ: 1.

Se observaron secciones de Hedbergella sp., Globigerinelloides gottisi y Favusella sp.

Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita. Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones.

No. de muestra: SB-8

Biomicrita (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, partículas de cuarzo comunes. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides barri, G. ferreolensis, G. gottisi, G. duboisi, y posiblemente Favusella sp. y Hedbergella sp. También Globochaete sp. y Raxella sp.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones. Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-8A

Biomicrita recristalizada (wackestone-packstone bioclástico recristalizado), de radiolarios reemplazados por micrita y fantasmas de foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos; erráticos fragmentos de moluscos, y abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides sp., G. ferreolensis, Hedbergella planispira y H. sigali.

Fracturamiento intenso; dos eventos, fracturas rellenas de calcita. Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones.

No. de muestra: SB-9

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) con fantasmas de radiolarios reemplazados por micrita y de foraminíferos planctónicos, fragmentos de ostrácodos raros; abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 3.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Segundo evento con impregnaciones de hidrocarburos. Microestilolitas comunes rellenas de hidrocarburos, dos generaciones.

No. de muestra: SB-10

Biomicrocristal (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos, y raros fragmentos de ostrácodos y de moluscos; abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 3.

Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Dos generaciones de microestilolitas.

No. de muestra: SB-11

Pelmicrocristal (ver nota al pie de página no. 1) recristalizada de foraminíferos planctónicos y bentónicos fragmentados, radiolarios reemplazados por micrita, con litoclastos y fragmentos de equinodermos, y raros fragmentos de rudistas; frecuentes partículas de micas (muscovita). SMFT: 2, 3, 4. FZ: 3.

Se observaron Favusella sp., Planomalina sp., Globigerinelloides algerianus, G. ferreolensis, Ticinella sp., Caucasella sp., Hedbergella gorbachiki, y Thalmaninella ticinensis.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Segundo evento con impregnaciones de hidrocarburos. Dos generaciones de microestilolitas rellenas por hidrocarburos.

No. de muestra: SB-12

Arenisca carbonatada constituida por cuarzo y feldespato potásico (ortoclasa), menores proporciones de muscovita, plagioclasa y líticos muy escasos de pedernal?, y de

las areniscas rojizas de la Formación Chivillas Superior. Cementada por calcita; fragmentos muy raros de equinodermos. Gradación normal y mala clasificación; redondez de partículas muy variada; contactos puntuales, suturados, tangenciales y cóncavo-convexos, frecuentes granos flotantes. Sericitización y oxidación frecuentes.

Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento nulo.

No. de muestra: SB-13

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) de fantasmas de radiolarios reemplazados por micrita y de foraminíferos planctónicos; abundantes partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 3.

Abundantes microestilolitas, dos generaciones. Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-14

Biomicrocristal (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, con escasos fragmentos de equinodermos. SMFT: 3, 4. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella planispira, H. trocoidea y Thalmaninella sp.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones; presión-solución intergranular. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-16

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) de fantasmas de radiolarios reemplazados por micrita, y de foraminíferos planctónicos, escasos fragmentos de moluscos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontró una sección de Globigerinelloides algerianus.

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos.

Pedernal

Pedernal microcristalino carente de pedernal criptocristalino, lo cual no permite apreciar el contenido fósil.

Fracturamiento (ambas microfacies) intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-17

Biomicrocristalina (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, escasos fragmentos de equinodermos, erráticos fragmentos de moluscos y calcisferas. SMFT: 3. FZ: 3.

Abundantes microestilolitas y presión-solución intergranular, ambas rellenas de hidrocarburos.

Pedernal

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados; abundante pedernal criptocristalino. Reemplazo microcristalino dando lugar a *horizontes de intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento (en general) intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-19

Biomicrocristalina recristalizada (packstone bioclástico recristalizado) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, con fragmentos de equinodermos; escasas partículas de cuarzo. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron algunas secciones de Globigerinelloides duboisi, G. ferreolensis, G. algerianus y Hedbergella sigali.

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones. Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas con relleno calcítico. Segundo evento con impregnación de hidrocarburos.

No. de muestra: SB-20

Biomicrocristalina (wackestone bioclástico) de fantasmas de foraminíferos planctónicos y de radiolarios reemplazados por micrita, escasos fragmentos de equinodermos, abundantes peloides, erráticos foraminíferos bentónicos y fragmentos de ostrácodos. SMFT: 2, 3. FZ: 3.

Dos generaciones de microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita. Segundo evento con impregnación de hidrocarburos.

No. de muestra: SB-21

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, fragmentos de equinodermos poco frecuentes. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. roblesae, Favusella sp., Globigerinelloides duboisi, G. ferreolensis, G. sigali, G. maridalensis y de Pithonella ovalis.

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita

No. de muestra: SB-23

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, fragmentos de equinodermos y de ostrácodos muy escasos, y erráticos fragmentos de moluscos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella delrioensis, H. luterbacheri, Globigerinelloides duboisi, G. ferreolensis, G. algerianus, Planomalina sp., y Thalmaninella sp.

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita. Segundo evento con impregnaciones de hidrocarburos.

No. de muestra: SB-25

Biomicrocristalizada (wackestone-packstone bioclástico recristalizado), de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos y de ostrácodos, erráticos fragmentos de moluscos, intraclastos raros. SMFT: 3. FZ: 3.

Se observó una sección de Globigerinelloides barri y de Globochaete sp.

Microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-27

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos, erráticas calcíferas y fragmentos de moluscos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides algerianus.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones. Fracturamiento moderado; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-28

Biomicrocristalizada (wackestone bioclástico recristalizado) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, escasos fragmentos de equinodermos, erráticos fragmentos de moluscos y de ostrácodos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. delrioensis, H. roblesae, H. luterbacheri, Globigerinelloides gottisi, G. ferreolensis, G. algerianus, G. barri, y algunos foraminíferos quillados.

Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-30

Biomicrocristalizada (wackestone-packstone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, con fragmentos de equinodermos, y calcíferas, escasos fragmentos de moluscos y de ostrácodos; raros fragmentos de foraminíferos bentónicos y de espículas de esponja. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. planispira, H. similis, H. occulta, H. luterbacheri, H. trocoidea, H. delrioensis, H. sigali, Loeblichella sp., Ticinella sp., Favusella sp., Thalmaninella sp., Globigerinelloides ferreolensis, G. gottisi, G. macrocameratus, G. barri, G. algerianus, G. maridalensis, G. sigali, G. duboisi. Así como

algunas secciones de Pithonella ovalis, Calcisphaera sp. y Globochaete sp. Además de Inoceramus sp.?

Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones. Fracturamiento moderado; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-31A

Biomicro (wackestone bioclástico) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, escasos fragmentos de equinodermos, erráticos fragmentos de moluscos y calcisferas, escasas partículas de cuarzo. SMFT: 2, 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides algerianus, G. ferreolensis, G. barri, G. duboisi, G. gottisi, Hedbergella sp., H. luterbacheri, H. planispira, H. trocoidea, H. delrioensis, Ticinella sp., Thalmaninella appenninica (Longoria, com. pers.), Th. ticinensis, Pithonella ovalis, Lenticulina sp. e Inoceramus sp.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. El fracturamiento es débil; dos eventos, fracturas rellenas de calcita.

- Facies pedernalosa

En esta localidad el contenido de pedernal criptocristalino es mucho menor que en Calapa, lo que dificulta apreciar el contenido fósil; en donde lo hay, se presenta de la misma manera que en ella.

No. de muestra: SB-15

Pedernal microcristalino con pedernal criptocristalino muy escaso; abundantes cristales dolomíticos parcialmente dedolomitizados.

Caliza

Biomicro (wackestone bioclástico) de radiolarios reemplazados por micrita, con foraminíferos planctónicos y fragmentos de moluscos, raros fragmentos de ostrácodos y de equinodermos.

Se encontró una sección de Globigerinelloides algerianus.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-18

Tres microfacies: en la base se observa una biomicrita recristalizada que pasa a un pedernal microcristalino el cual pasa nuevamente a la biomicrita recristalizada, que pasa a un *horizonte de intenso reemplazamiento*.

El pedernal es microcristalino; carencia de pedernal criptocristalino.

Fracturamiento muy intenso en el pedernal, fracturas con relleno calcítico.

No. de muestra: SB-20A

Cuatro horizontes pedernalosos con un paso gradual entre ellos. Se trata de un pedernal que sufrió el reemplazamiento por carbonatos ya referido, de manera gradual. El pedernal microcristalino pasa a un horizonte con ligero reemplazamiento, éste pasa a un pedernal con mayor reemplazamiento y finalmente se tiene un *horizonte de intenso reemplazamiento*. Carencia marcada de pedernal criptocristalino. Frecuentes foraminíferos planctónicos silicificados. Laminaciones de diferente cristalinidad del pedernal.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-22

Dos microfacies: en la base un pedernal, hacia la parte media hay un *horizonte de intenso reemplazamiento* y en la cima una biomicrita recristalizada.

El pedernal es microcristalino, abundantes radiolarios, foraminíferos planctónicos silicificados comunes; frecuente pedernal criptocristalino.

Se observó una sección de Thalmaninella sp.

Biomicrita bastante recristalizada, de radiolarios reemplazados por micrita y foraminíferos planctónicos, escasos foraminíferos bentónicos.

Fracturamiento, en general, muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-23A

Pedernal microcristalino de radiolarios, con foraminíferos planctónicos silicificados; microlentes con cristalinidad muy fina a gruesa (microfacies). Escaso pedernal criptocristalino.

Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-24

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados, abundante pedernal criptocristalino. Un *horizonte de intenso reemplazamiento*.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SB-29

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados, abundante pedernal criptocristalino, laminaciones de diferente cristalinidad; frecuentes *horizontes de intenso reemplazamiento*.

Caliza

Biomícrita recristalizada (packstone bioclástico recristalizado) de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, escasos fragmentos de equinodermos y calcisferas, escasos fragmentos de ostrácodos.

Se encontraron secciones de Globigerinelloides algerianus, G. ferreolensis, G. barri y Pithonella ovalis.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-32

Esta muestra está constituida por *horizontes de intenso reemplazamiento*.

Abundantes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

No. de muestra: SB-31

La muestra consiste de cuatro horizontes: un *horizonte de intenso reemplazamiento*, que pasa a un pedernal microcristalino con menor reemplazamiento por carbonatos, y en seguida otro *horizonte de intenso reemplazamiento*, que pasa finalmente a un pedernal microcristalino con menor reemplazamiento.

El pedernal microcristalino es de radiolarios, frecuentes foraminíferos planctónicos silicificados; escaso pedernal criptocristalino.

Se observó sólo una sección de Globigerinelloides algerianus.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

Formación Chivillas Superior

No. de muestra: SB-1

Arenisca calcárea constituida por partículas de cuarzo, feldespatos potásicos (ortoclasa), plagioclasas, fragmentos de roca volcánicos y metamórficos? cementadas por calcita. En menor cantidad fragmentos muy pequeños de muscovita y raras partículas de biotita. Clasificación mala; partículas de subredondeadas hasta subangulosas; contactos puntuales, suturados y cóncavo-convexos. Porosidad intergranular sellada por cementante calcítico.

Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento moderado, fracturas rellenas de calcita.

PETROGRAFIA DE LA SECCION MIAHUATEPEC

Formación Tamaulipas Superior

- Facies carbonatada

Los foraminíferos planctónicos son generalmente cámaras sueltas, los fragmentos de moluscos son pequeños, y principalmente de rudistas. La recristalización es mayor que en San Bernardino. La diseminación de hidrocarburos es escasa.

La paragénesis en las calizas de esta localidad es la misma:

$$m \rightarrow c \rightarrow r \rightarrow ps1 \rightarrow h1 \rightarrow f1 \rightarrow rf1 \rightarrow f2 \rightarrow rf2 \rightarrow f3 \rightarrow rf3 \rightarrow si \rightarrow d \rightarrow cd \rightarrow rcd$$

No. muestra: SM-1

“Pelmicrita” fuertemente recristalizada (grainstone de peloides) con abundantes foraminíferos bentónicos y ooides, comunes fragmentos de equinodermos y frecuentes pelets; escasos foraminíferos planctónicos, fragmentos de moluscos, de ostrácodos y de braquiópodos, raras calcisferas y radiolarios reemplazados por micrita; frecuentes granos envueltos (?); posiblemente raros fragmentos de algas, de briozoarios, de coral y de estromatoporoideos, y espículas de esponja. SMFT: 4. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp, H. sigali, H. gorbachiki, H. trocoidea, Caucasella sp., C. hoterívica, Globigerinelloides aptiense, Favusella scitula?, y Lenticulina sp. Además Globochaete sp. y Dictyoconus sp.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas están rellenas de calcita.

No. de muestra: SM-2

Biomicrita laminada (wackestone bioclástico), fuertemente recristalizada, de radiolarios reemplazados por micrita (?), con ostrácodos y raros fragmentos de braquiópodos. SMFT: 2, 3. FZ: 3.

Fracturamiento prácticamente nulo, con relleno de calcita.

No. de muestra: SM-3

Biomicrota fuertemente recristalizada (Grainstone bioclástico), de fragmentos de equinodermos y de moluscos, frecuentes foraminíferos bentónicos y radiolarios reemplazados por micrita, erráticas calcisferas, fragmentos de braquiópodos y de corales, y posibles fragmentos de algas, de estromatoporoideos y de briozoarios. Con intraclastos comunes, y escasos peloides, ooides y litoclastos (?). SMFT: 4. FZ: 4.

Se encontraron secciones de Caucasella sp., Stomiosphaera sphaerica, Inoceramus sp., Dictyoconus sp. y Orbitolina sp.

Dolomitización relativamente intensa. Presión-solución intergranular escasa, con relleno de hidrocarburos. Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SM-4

Biomicrota laminada recristalizada (wackestone-packstone bioclástico), de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita, escasos fragmentos de equinodermos, y erráticos ostrácodos y calcisferas. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella occulta, H. sigali, H. trocoidea, H. planispira, H. infracretacea, H. gorbachiki, H. luterbacheri, H. delrioensis, H. similis, Caucasella sp., Globigerinelloides duboisi, G. gottisi, G. ferreolensis, G. macrocameratus y G. algerianus. Y de Lenticulina sp., Globochaete sp., Stomiosphaera sphaerica y Pithonella ovalis.

Dolomitización relativamente intensa. Microestilolitización rara, con relleno de hidrocarburos. El fracturamiento escaso; fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SM-5

Caliza fuertemente recristalizada, con frecuentes fragmentos de rudistas y erráticos fragmentos de equinodermos; escasos fantasmas de radiolarios reemplazados por micrita y de foraminíferos planctónicos; escasos clastos de pedernal. SMFT: 4. FZ: 4.

Dolomitización intensa. Escasas microestilolitas rellenas de hidrocarburos. Fracturamiento débil; fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SM-6

Biomicro (packstone bioclástico) de foraminíferos planctónicos, con radiolarios reemplazados por micrita, escasas calcisferas y fragmentos de equinodermos, raros ostrácodos. SMFT: 3. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. occulta, H. planispira, H. sigali, H. delrioensis, H. bolii, H. gorbachiki, H. luterbacheri, H. trocoidea, H. sigali, H. infracretacea, H. similis, Caucasella sp., Globigerinelloides ferreolensis, G. macrocameratus, G. algerianus, G. barri, Favusella sp., y Thalmaninella ticinensis. Además de Pithonella ovalis.

Débil dolomitización. Fracturamiento muy intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SM-7

Biomicro recristalizada de fragmentos de rudistas, con foraminíferos planctónicos (y escasos bentónicos), radiolarios reemplazados por micrita, fragmentos de equinodermos, de algas (?), erráticos fragmentos de briozoarios, de corales y de braquiópodos; comunes peloides y ooides, frecuentes litoclastos biomicro (de foraminíferos planctónicos y radiolarios reemplazados por micrita), y escasos intraclastos. SMFT: 4. FZ: 4.

Los foraminíferos planctónicos por lo general están representados por cámaras sueltas; los foraminíferos bentónicos son muy escasos, biseriados principalmente, y miliólidos típicos.

Dolomitización moderada. Frecuentes microestilolitas rellenas de hidrocarburos, dos generaciones. Fracturamiento moderado a intenso; tres eventos, fracturas rellenas de calcita.

No. de muestra: SM-8A

Biomicro (wackestone-packstone bioclástico) de foraminíferos planctónicos, radiolarios reemplazados por micrita, fragmentos de moluscos y peloides, con calcisferas, ostrácodos y fragmentos de equinodermos. SMFT: 2. FZ: 3.

Se encontraron secciones de Hedbergella sp., H. trocoidea, H. luterbacheri, H. gorbachiki, H. planispira, H. labocaensis, H. occulta, Favusella sp., Ticinella sp., Caucasella sp., Globigerinelloides ferreolensis, G. barri, G. algerianus, así como de Calcisphaerula sphaerica, Pithonella ovalis y Globochaete sp.

Dolomitización escasa. Fracturamiento prácticamente nulo; fracturas rellenas por calcita.

• Facies pedernalosa

En esta facies el contenido de pedernal criptocristalino es semejante a Calapa, al igual que las formas en las que se presenta. Empero los reemplazos por carbonatos fueron menores aquí.

No. de muestra: SM-4A

Pedernal microcristalino de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados; pedernal criptocristalino común. Presencia de *horizontes de intenso reemplazamiento*.

Se encontraron secciones de Hedbergella occulta, H. similis, H. planispira, H. infracretacea, H. luterbacheri, Globigerinelloides aptiense, G. ferreolensis, G. algerianus y G. barri.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas fueron rellenas por calcita.

No. de muestra: SM-8

Pedernal microcristalino laminado, con un contenido moderado de radiolarios y foraminíferos planctónicos silicificados. Escaso pedernal criptocristalino. Laminaciones con cambios de cristalinidad.

Se encontraron secciones de Hedbergella occulta, H. delrioensis, H. planispira, H. gorbachiki, H. trocoidea, H. luterbacheri, Globigerinelloides ferreolensis y G. barri.

Fracturamiento intenso; tres eventos, fracturas rellenas por calcita.

ANEXO FOTOGRAFICO

LAMINA I

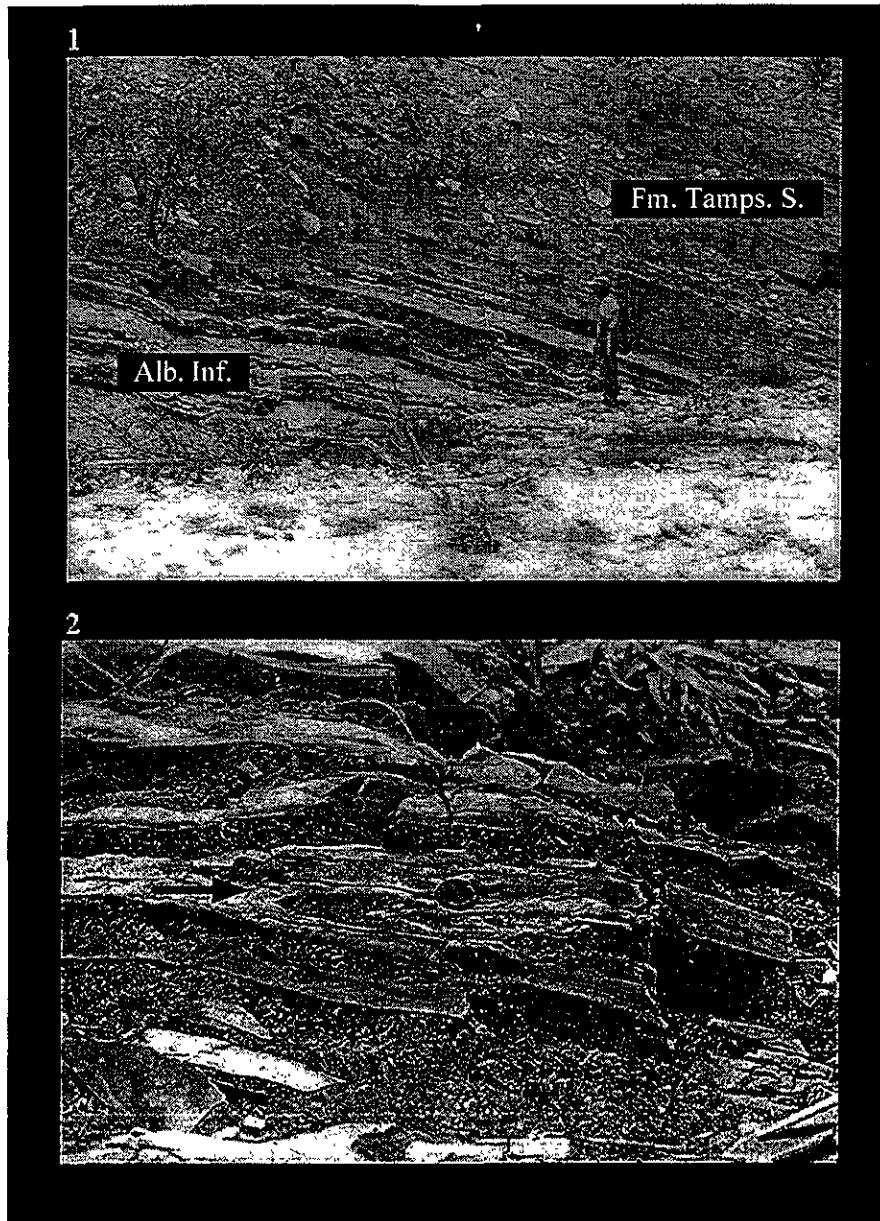


Lámina I. Fotografías de campo.

1. Panorámica del contacto transicional entre la Fm. Tamaulipas Superior y la unidad del Albiano Inferior (Localidad Río Calapa).
2. Horizontes de pedernal plegados. (Fm. Tamaulipas Superior, localidad Calapa).

LAMINA II



Lámina II. Fotografías de campo.

1. Panorámica del aspecto de los horizontes pedernalosos (Fm. Tamaulipas Superior, loc. Calapa).
2. Facies de flujos de escombros en la cima del C. Miahuatepec (Fm. Tamaulipas Superior, localidad Miahuatepec).

LAMINA III

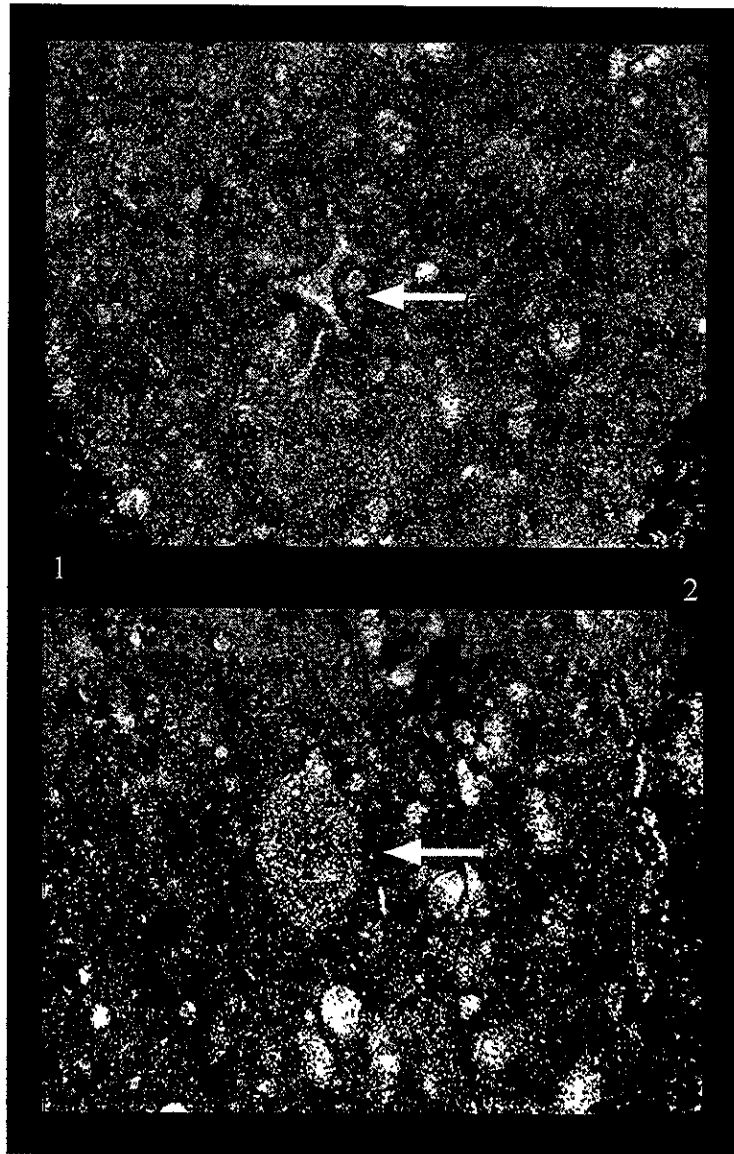


Lámina III. Microfacies biomicríticas.

1. Radiolario micritizado (nasselárido). Muestra T-1, loc. Río Calapa. (Objetivo 10x).
2. Radiolario micritizado (espumelárido). Muestra T-1, loc. Río Calapa. (Objetivo 10x).

LAMINA IV

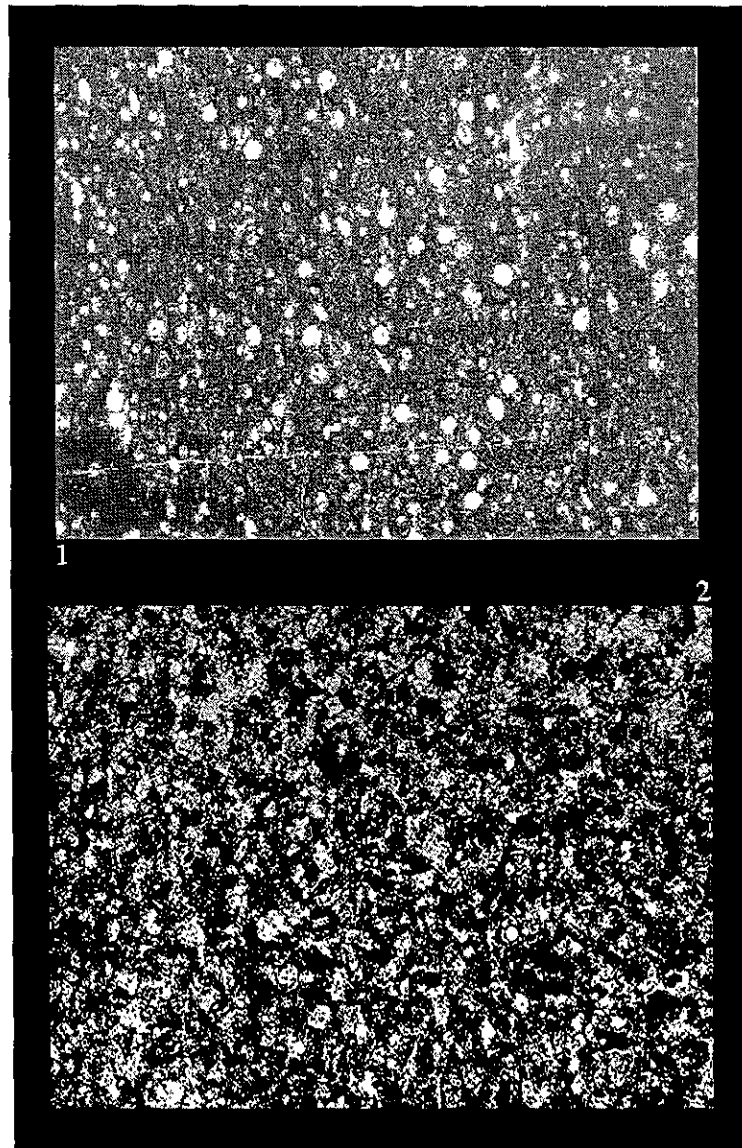


Lámina IV. Microfacies biomicrocíticas.

1. S M F T 3. Muestra T-11A, loc. Río Calapa. (Objetivo 4x).
2. S M F T 2. Muestra MG-3A, loc. Río Calapa. (Objetivo 4x).

LAMINA V

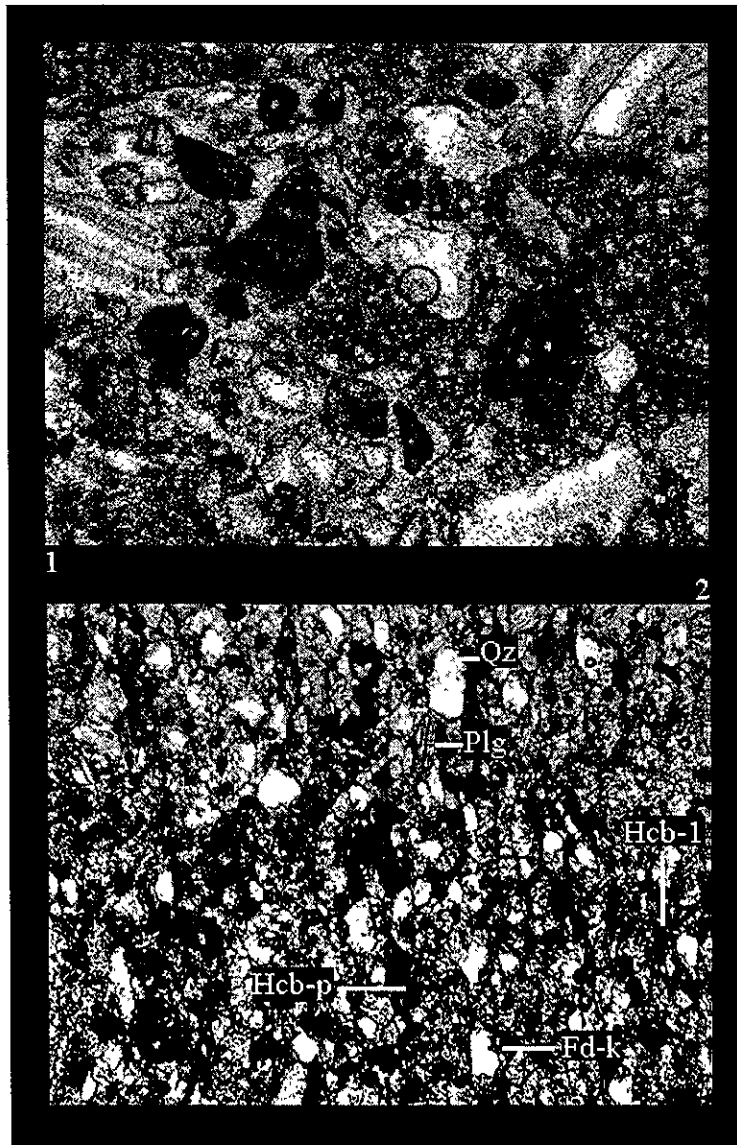


Lámina V. Microfacies biomicríticas.

1. S M F T 4. Muestra SM-7, loc. Miahuatepec. (Objetivo 4x).
2. Arenisca calcárea (**Qz**: cuarzo; **Plg**: plagioclasa; **Fd-k**: feldespato potásico; **Hcb-l**: hidrocarburos ligeros; **Hcb-p**: hidrocarburos pesados). Muestra SB-12, loc. San Bernardino Lagunas. (X-Nícoles, objetivo 4x).

LAMINA VI

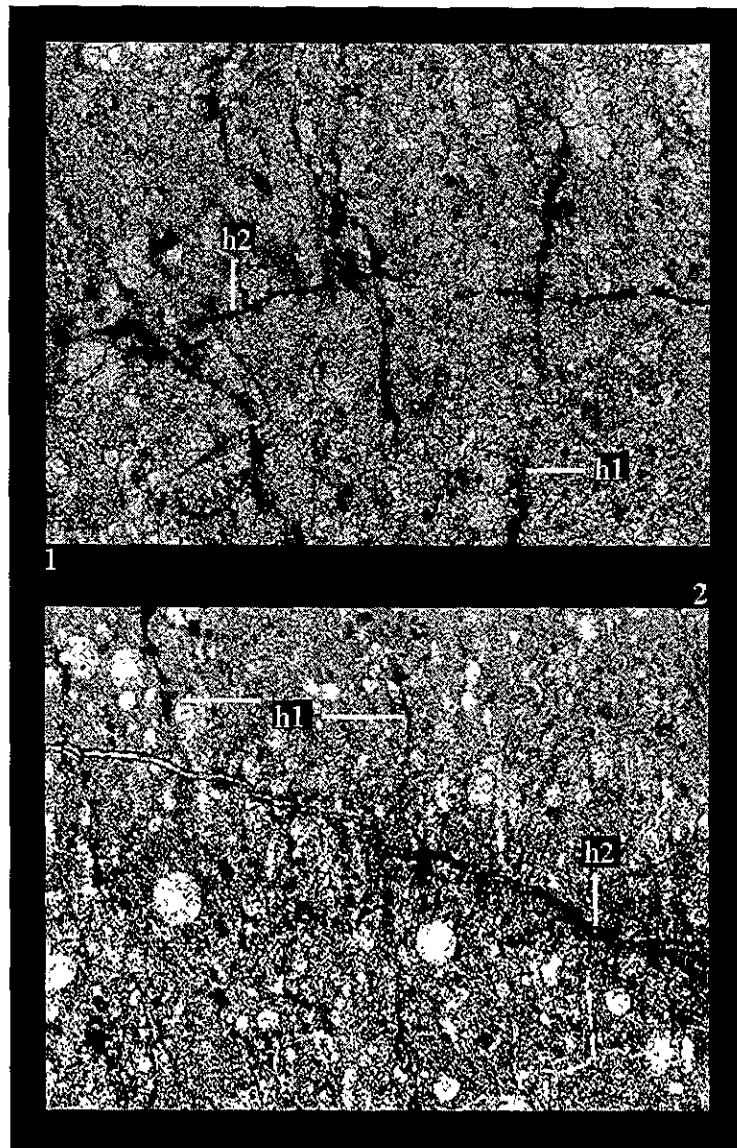


Lámina VI. Microfacies biomicríticas.

1. *h1* y *h2* en la facies carbonatada de la loc. San Bernardino Lagunas. Muestra SB-3. (Objetivo 10x).
2. Otro ejemplo de *h1* y *h2*. Corresponde a la misma muestra. (Objetivo 4x).

LAMINA VII

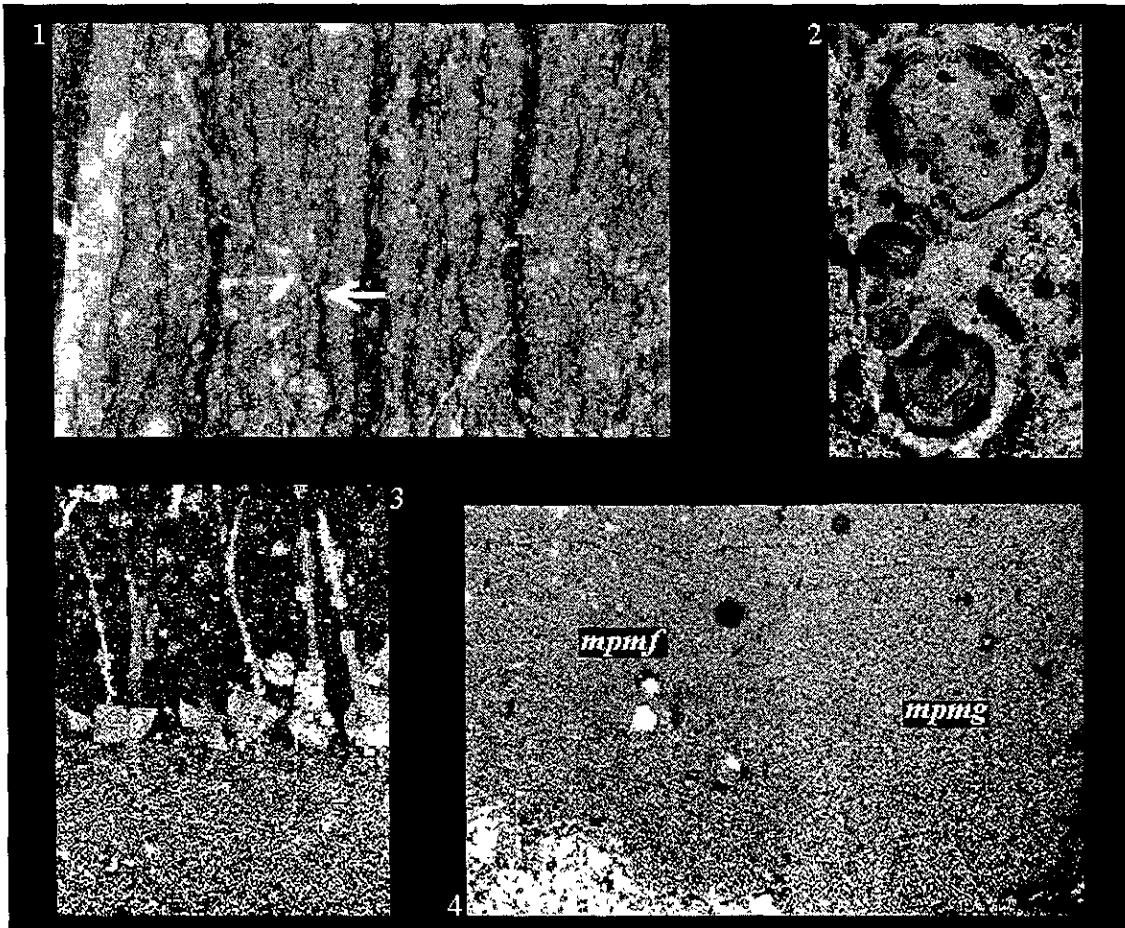


Lámina VII. Microfacies pedernalosas.

1. Laminaciones de pedernal criptocristalino (oscuras) en un pedernal microcristalino. Muestra T-15, loc. Río Calapa. La flecha sirve de referencia para la Lámina VI-1. (X-Nícoles, objetivo 4x).
2. Foraminífero silicificado relleno por pedernal criptocristalino, en un pedernal microcristalino (*Hedbergella* sp.). Muestra T-7A, loc. Río Calapa. (Objetivo 40x).
3. Horizontes de reemplazamiento en el contacto entre facies biomicríticas y pedernalosas. Muestra T-9, loc. Río Calapa. (X-Nícoles, objetivo 4x).
4. Cambio de microfacies en pedernal microcristalino. *mpmf*: microfacies pedernalosa microcristalina fina; *mpmg*: microfacies pedernalosa microcristalina gruesa. Muestra SB-23A, loc. San Bernardino Lagunas. (X-Nícoles, objetivo 4x).

LAMINA VIII

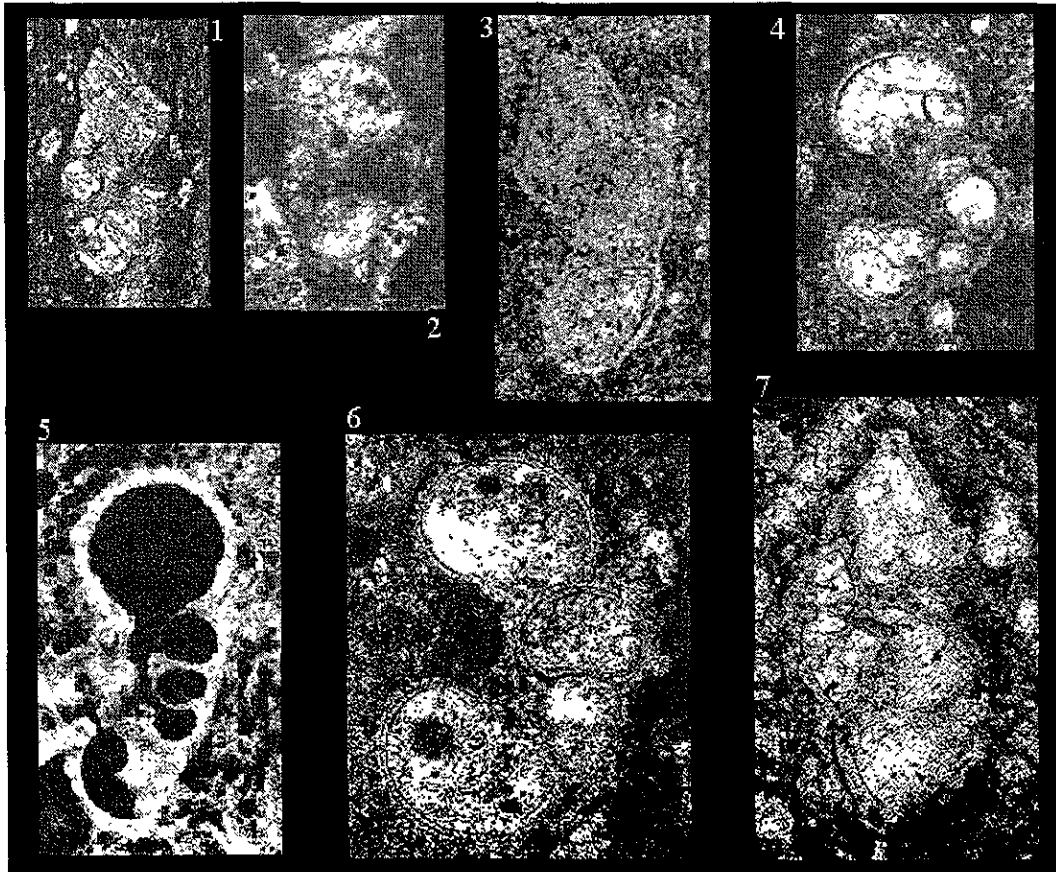


Lámina VIII. Especies determinativas de edad *Albiano Temprano-Vraconiano Temprano* para la Fm. Tamaulipas Superior, en la región de Tehuacán.

1. Thalmaninella appenninica. Muestra SB-31A, loc. San Bernardino Lagunas. (Objetivo 10x).
2. Favusella scitula. Muestra SM-1, loc. Miahuatepec. (Objetivo 10x).
3. Thalmaninella ticinensis. Muestra SM-6, loc. Miahuatepec. (Objetivo 10x).
4. Favusella scitula. Muestra P5-A, loc. Río Calapa (Unidad Albiano Inferior). (Objetivo 10x).
5. Ticinella bejaouaensis. Muestra T-4, loc. Río Calapa. (Objetivo 40x).
6. Favusella nitida. Muestra P-5, loc. Río Calapa (Unidad Albiano Inferior). (Objetivo 10x).
7. Thalmaninella ticinensis. Muestra T-17A, loc. Río Calapa. (Objetivo 10x).

LAMINA IX

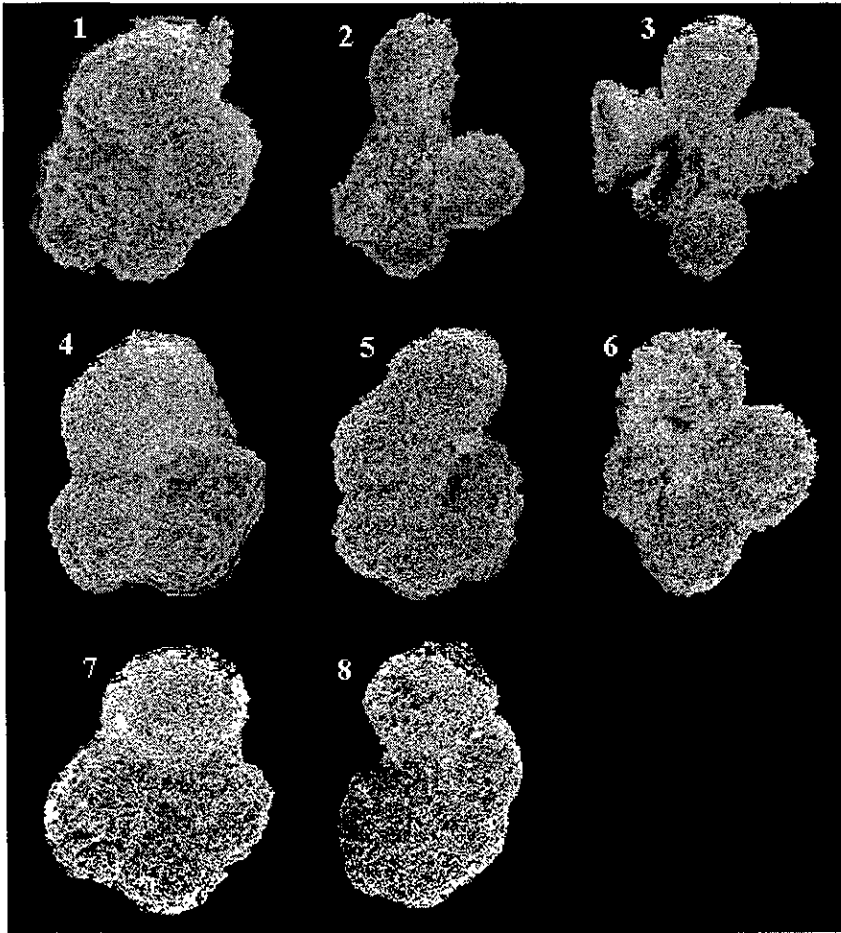


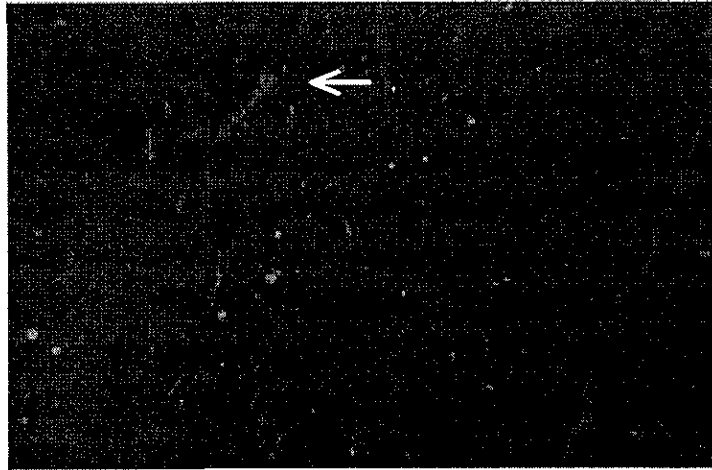
Lámina IX. Especímenes sueltos de foraminíferos planctónicos silicificados de la Fm. Tamaulipas Superior (región de Tehuacán), retrabajados de rocas carbonatadas aptianas. Recuperados de los horizontes de pedernal.

1. Globigerinelloides gottisi (X300).
2. Globigerinelloides sigali (X330).
3. Hedbergella roblesae (X240).
4. Globigerinelloides duboisi (X360).
5. Hedbergella luterbacheri (X330).
6. Hedbergella semielongata (X330).
7. Hedbergella sigali (X360).
8. Globigerinelloides macrocameratus (X390).

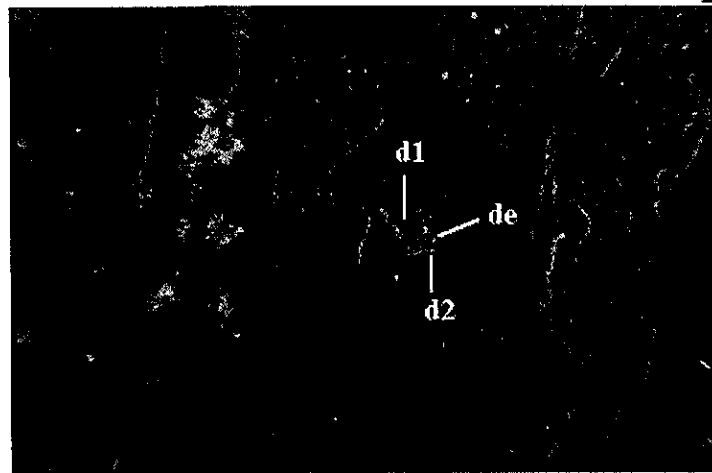
Lámina X. Catodoluminiscencia.

1. Pedernal microcristalino con laminaciones de pedernal criptocristalino (misma toma que en Lámina III, 1; la flecha sirve de referencia en ambas fotografías, ya que señala a la misma partícula). Nótese que el pedernal acusa el mismo color a pesar de tener diferente tipo de cristalinidad. El color rojizo que presenta el pedernal (en lugar de azul) se debe posiblemente a la presencia de pedernal criptocristalino, cuyas impurezas (minerales traza, por ejemplo) enmascara el color habitual. Muestra T-15, loc. Río Calapa. (Objetivo 4x).
2. Cristal de dolomita mostrando los tres reemplazos por carbonatos acaecidos en el pedernal; en orden paragenético: *d1* (dolomitización), *de* (dedolomitización) y *d2* (segunda dolomitización). Muestra T-15, loc. Río Calapa. (Objetivo 4x).

LAMINA X



1



2

LAMINA XI

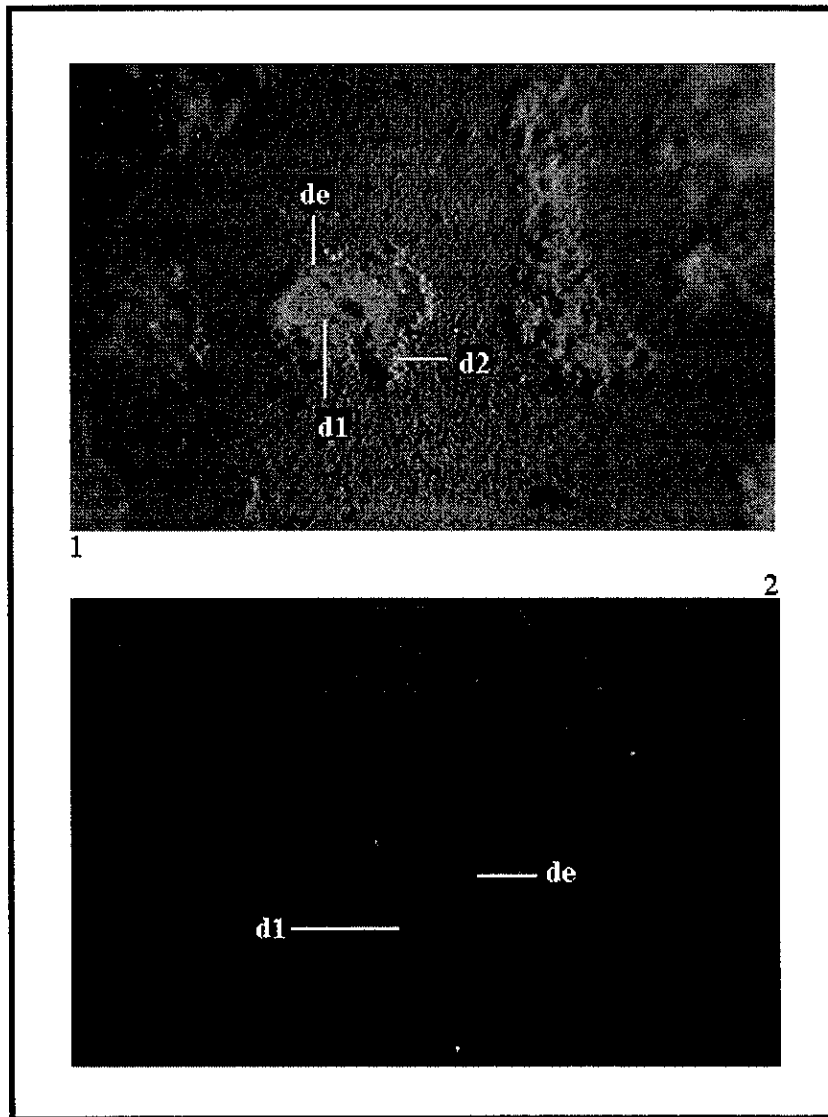


Lámina XI. Catodoluminiscencia.

1. Partícula mostrando los tres reemplazamientos por carbonatos (posible microfósil): *d1*, *de* y *d2* (en orden paragenético). Muestra T-16, loc. Río Calapa. (Objetivo 10x).
2. Reemplazamientos por carbonatos en el relleno calcífico de las fracturas: *d1* y *de* (en orden paragenético). Muestra T-5, loc. Río Calapa. (Objetivo 4x).

LAMINA XII

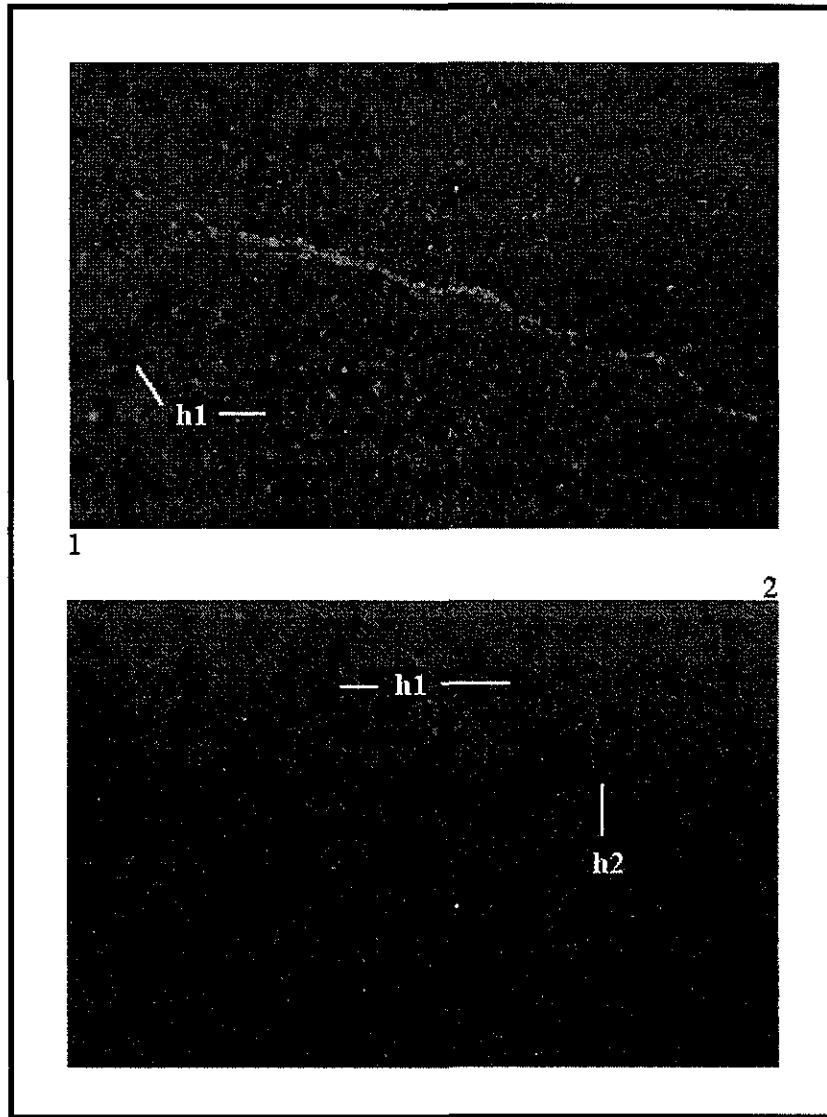


Lámina XII. Catodoluminiscencia.

5. *h1* en la facies carbonatada. Muestra SB-3, loc. San Bernardino Lagunas. (Objetivo 4x).
6. *h1* y *h2* en la facies carbonatada. Muestra SB-3, loc. San Bernardino Lagunas. (Objetivo 4x).