

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



Análisis microfacial y correlación estratigráfica del Cretácico
Medio en la Sierra Gorda de Querétaro

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Presenta:

Angélica Oviedo García

Linares, Nuevo León.

Junio del 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



Análisis microfacial y correlación estratigráfica del Cretácico
Medio en la Sierra Gorda de Querétaro

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Presenta:
Angélica Oviedo García

Linares, Nuevo León.

Junio del 2001



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



**"Análisis microfacial y correlación estratigráfica del Cretácico
Medio en la Sierra Gorda de Querétaro"**

TESIS

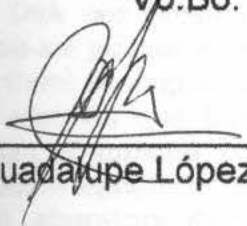
Que como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

presenta:

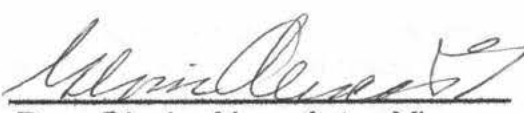
Angélica Oviedo García

Vp.Bo. Comisión de Revisión de Tesis.


Dr. José Guadalupe López Oliva


Dr. Miguel Carrillo Martínez


Dr. Francisco Medina Barrera


Dra. Gloria Alencáster Ybarra


Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández

AGRADECIMIENTOS:

En esta página me gustaría agradecer a todas las personas que de una forma o de otra, estuvieron involucradas para la realización de este trabajo de tesis.

Primero quisiera agradecer a la personita más importante en mi vida, que vio pasar a su madre meses viajando a campo o sentada en la computadora, pues creo que nunca se le acabó la paciencia mientras que yo alguna vez llegué a desesperarme. Esta tesis tiene una dedicatoria muy especial para ella.

Ahora quisiera agradecer a mi familia por su apoyo moral a lo largo de todo el desarrollo de esta tesis, económico y por no dejar de atender mis asuntos cuando más lo necesitaba, aún cuando la espera creo que se les hizo eterna.

Quisiera agradecer al Conacyt por darme la oportunidad de realizar mi Maestría en Ciencias Geológicas y de impulsarme a seguir adelante.

Un agradecimiento especial al UNICIT Juriquilla por las facilidades técnicas requeridas en este trabajo.

Quiero agregar unas líneas para mis amigos que de diversas formas me motivaron y ayudaron para alcanzar esta meta:

A Rol por su paciencia para enseñarme tectónica (mi coco) con la que ahora me he congraciado un poco, fotogeología (muy interesante) y sus valiosos consejos y tiempo invertido en esta amiga que al final ya sabe un poco más.

A Tavo por su amistad y enorme apoyo, tanto moral, como durante mi trabajo en el laboratorio, además de los consejos para salvar los obstáculos que se me presentaron durante el camino.

A Ana y Carlos por sus valiosas aportaciones y comentarios, que fueron muy importantes para el desarrollo de este trabajo.

A Antonio que me apoyó siempre en silencio, confiando (espero) que al final lo lograra, gracias por estar ahí en mis horas altas y bajas, por tu amistad. Ahora te digo orgullosa: !!Mira....., lo logré!!.

A Gerard por su ayuda y preocupación para agilizar la revisión de mi tesis.

A Dirk por presionarme de manera muy sutil para titularme. Gracias, aunque no me gustan mucho tus métodos.

A Carol por aguantar a una pésima compañera de casa, a quien no pude darle la atención que hubiera querido durante la última fase de este trabajo. Gracias por tu amistad, comprensión, ayuda y sobre todo paciencia.

Quiero agradecer también a los técnicos con quienes compartí mucho tiempo el Laboratorio de Preparación y quienes en algún momento me ayudaron a preparar mis láminas.

También quisiera mencionar a Vicky a Adalberto por la valiosa asesoría y ayuda en cuanto a los aspectos de informática relacionados con mi trabajo.

A mi director de tesis, el Dr. José Guadalupe López Oliva por apoyarme a lo largo de este periodo y por sus excelentes consejos en la recta final de este estudio.

A mi co-director de tesis el Dr. Miguel Carrillo de quien recibí buenos consejos y recomendaciones muy acertadas. Gracias.

Al resto de mis asesores: Dra. Gloria Alencáster por su apoyo y ayuda desde hace algunos años; Dr. Juan Alonso Ramírez por su ayuda en distintas etapas de la realización de este trabajo; Dr. Francisco Medina por sus valiosas sugerencias en la revisión de mi tesis. A Javier Castro por motivarme y preocuparse por mí. A todos ellos gracias. MUCHAS GRACIAS.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
1. - INTRODUCCIÓN.....	1
2. - OBJETIVOS.....	3
3. - METODOLOGÍA.....	4
3.1. - <i>TRABAJO DE CAMPO</i>	4
3.1.1. - CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES.....	4
3.1.2. - LEVANTAMIENTO DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS.....	4
3.1.3. - DESARROLLO FACIAL.....	5
3.1.4. - ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO.....	5
3.2. - <i>TRABAJO DE LABORATORIO</i>	5
3.2.1. - CORTE DE LAS MUESTRAS Y PREPARACIÓN DE LAMINAS DELGADAS.....	5
3.2.2. - DESCRIPCIÓN DE LAS LAMINAS DELGADAS.....	6
3.3. - <i>TRABAJO DE GABINETE</i>	6
3.3.1. - MAPA Y PERFILES GEOLÓGICOS.....	6
3.3.2. - GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	6
3.3.3. - COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	6
3.3.4. - ANÁLISIS DE MICROFACIES.....	7
3.3.5. - ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO.....	7
4. - SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	10
5. - HISTORIA GEOLÓGICA.....	12
5.1. - <i>MARCO GEOLÓGICO</i>	12

PARTE I: EL MADROÑO.....	15
6. - LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....	15
7. - TRABAJOS PREVIOS.....	16
8. - UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.....	21
8.1. - <i>FORMACIÓN TAMABRA.....</i>	<i>21</i>
8.2. - <i>FORMACIÓN EL ABRA.....</i>	<i>21</i>
8.2.1. - <i>FACIES TANINUL.....</i>	<i>22</i>
8.2.2. - <i>FACIES EL ABRA.....</i>	<i>23</i>
8.3. - <i>FORMACIÓN SOYATAL.....</i>	<i>23</i>
9.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE "EL MADROÑO".....	26
9.1. - <i>PLATAFORMA VALLES-SAN LUIS POTOSÍ.....</i>	<i>26</i>
9.2. - <i>CABALGADURA DE LOBO - CIÉNAGA.....</i>	<i>26</i>
9.3. - <i>MECANISMOS DE DEFORMACIÓN.....</i>	<i>27</i>
10.- FENÓMENO KÁRSTICO.....	29
11.- RESULTADOS.....	32
11.1. - <i>ANÁLISIS DE FRACTURAS EN EL ÁREA DE "EL MADROÑO".....</i>	<i>32</i>
11.2. - <i>SECCIONES Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....</i>	<i>35</i>
11.2.1. - <i>S. E. DESCRIPTIVA EL RETÉN.....</i>	<i>35</i>
11.2.2. - <i>S. E. DESCRIPTIVA EL MADROÑO.....</i>	<i>37</i>
11.2.3. - <i>S. E. PUERTO MALPAIS.....</i>	<i>37</i>
11.3. - <i>DESARROLLO FACIAL.....</i>	<i>50</i>
11.3.1. - <i>DESCRIPCIÓN.....</i>	<i>50</i>
11.3.2. - <i>PUNTOS DE MUESTREO EL MADROÑO.....</i>	<i>50</i>
11.4. - <i>ANÁLISIS MICROFACIAL.....</i>	<i>75</i>
11.4.1. - <i>MODELO DE PLATAFORMA AISLADA INUNDADA.....</i>	<i>91</i>
11.4.2. - <i>EVOLUCIÓN DE LA PLATAFORMA.....</i>	<i>92</i>

11.5. - LISTA DE ORGANISMOS FÓSILES DE LA FM. EL ABRA.....	93
11.6. - ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO.....	95
11.6.1. - ANÁLISIS DE DISPERSIÓN.....	95
11.6.2. - ANÁLISIS DE DENSIDAD.....	101
11.6.3. - ANÁLISIS DE DISTANCIA MEDIA.....	105
11.6.4. - ANÁLISIS DE DISTRIBUCION.....	106
11.6.5. - ANÁLISIS DE DIVERSIDAD Y FRECUENCIA DE ESPECIES.....	108
11.6.6. - ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN.....	113
11.6.7. - ANÁLISIS DE ORIENTACIÓN.....	115
PARTE II: BANCO CALIZO EL DOCTOR.....	124
12. - LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....	124
13. - TRABAJOS PREVIOS.....	125
14. - UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE "EL DOCTOR".....	127
14.1. - FORMACIÓN EL DOCTOR.....	127
14.1.1. - FACIES LA NEGRA.....	127
14.1.2. - FACIES SAN JOAQUIN.....	127
14.1.3. - FACIES EL SOCAVON.....	127
14.1.4. - FACIES CERRO LADRON.....	128
14.2. - FORMACIÓN SOYATAL.....	129
15. - GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL BANCO CALIZO EL DOCTOR.....	130
16. - RESULTADOS.....	132
16.1. - SECCIONES Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	132
16.1.1. - S. E. TEPOZÁN.....	132
16.1.2. - S. E. LA VEGA.....	134
16.1.3. - S. E. CULEBRAS.....	136
16.1.4. - S. E. LÁZARO.....	139

16.1.5. - S. E. ARROYO.....	141
16.1.6. - S. E. DOLINA.....	143
16.1.7. - S. E. CHARCO VERDE.....	146
16.1.8. - S. E. CHARCO LARGO.....	147
16.1.9. - S. E. AGUA SALADA.....	148
16.2. - DESARROLLO FACIAL.....	151
16.2.1. - DESCRIPCIÓN.....	151
16.2.2. - PUNTOS DE MUESTREO.....	151
16.3. - ANÁLISIS MICROFACIAL.....	158
16.3.1. - MODELO DE PLATAFORMA AISLADA.....	170
16.3.2. - EVOLUCIÓN DE LA PLATAFORMA.....	172
16.4. - LISTA DE ORGANISMOS FÓSILES DE LA FM. EL DOCTOR.....	173
17. - CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE AMBAS ZONAS.....	174
18. - CONCLUSIONES.....	176
19. - BIBLIOGRAFÍA.....	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. - Ubicación de las Plataformas El Doctor y Valles-San Luis Potosí.....	2
Figura 2. - Localización de las áreas de estudio.....	10
Figura 3. - Cartas de I.N.E.G.I. en las que se encuentran las áreas de estudio.....	11
Figura 4. - Plataformas carbonatadas del centro de México durante el Cretácico "Medio".....	13
Figura 5. - Plataformas Valles-San Luis Potosí y El Doctor durante el Cretácico.....	14
Figura 6. - Localización del área de El Madroño.....	15
Figura 7. - Columnas estratigráficas regionales Plataformas Valles-San Luis Potosí y El Doctor.....	25
Figura 8. - Mapa tectónico de la zona de El Madroño.....	28
Figura 9. - Procesos de formación de dolinas.....	30
Figura 10. - Foto de El Madroño, con su suelo de "terra rossa".....	31
Figura 11. - Sección balanceada en el borde oriental de la Plataforma Valles-S.L.P.....	32
Figura 11a: Clasificación de familias de fracturas.....	33
Figura 12. - Análisis de las fracturas de la Fm. El Abra y Soyatal.....	32
Figura 13. - Localización de las secciones estratigráficas de El Madroño.....	36
Figura 14. - Foto del Tramo 7 de calizas micríticas laminadas.....	42
Figura 15. - Foto del Tramo 7 de calizas micríticas laminadas.....	42
Figura 16. - Foto del Tramo 8 de calizas micríticas grises.....	43
Figura 17. - Foto del Tramo 8 de calizas micríticas grises con "grainstone" de ooides.....	43
Figura 18 - Foto del Tramo 8 de calizas bioclásticas.....	44
Figura 19 - Foto del Tramo 8 de "rudstone" de rudistas y bivalvos.....	44
Figura 20 - Foto del Tramo 9 de calizas laminadas.....	45
Figura 21 - Columna estratigráfica Puerto Malpais, de la localidad de El Madroño.....	48
Figura 22 - Mapa de Ubicación de puntos de muestreo en la localidad de El Madroño.....	51

Figura 23 - Modelo facial del área de El Madroño.....	76
Figura 24 - Constituyentes bióticos de construcciones carbonatadas en el Fanerozoico.....	79
Figura 25 - Situación de las Facies El Abra y Taninul de la Fm El Abra en el área de El Madroño .	85
Figura 26 - Micrografía de la Microfacies 1 - "Floatstone" bioclástico con intraclastos.....	86
Figura 27 - Micrografía de la Microfacies 2 - "Wackestone bioclástico con peloides.....	86
Figura 28 - Micrografía de la Microfacies 3 - "Rudstone" bioclástico.....	87
Figura 29 - Micrografía de la Microfacies 4 - "Framestone" de briozoarios y algas.....	87
Figura 30 - Micrografía de la Microfacies 5 - "Wackestone" bioclástico.....	88
Figura 31 - Micrografía de la Microfacies 6 - "Packstone" peloidal con miliólidos.....	88
Figura 32 - Micrografía de la Microfacies 7 - "Floatstone" arrecifal.....	89
Figura 33 - Micrografía de la Microfacies 8 - "Grainstone" bioclástico.....	89
Figura 34 - Micrografía de la Microfacies 9 - "Mudstone" bioclástico con peloides.....	90
Figura 35 - Micrografía de la Microfacies 10 - "Rudstone" bioclástico.....	90
Figura 36 - Modelo idealizado de plataforma aislada inundada.....	92
Figura 37- Gráfica de Dispersión general por cuadro de muestreo.....	96
Figura 38 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 35A.....	97
Figura 39 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 35B.....	97
Figura 40 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 36A.....	98
Figura 41 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 36B.....	99
Figura 42 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 37A.....	99
Figura 43 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 37B.....	100
Figura 44 - Gráfica de la Densidad de individuos por cuadro de muestreo.....	101
Figura 45 - Gráfica de la densidad de individuos en el Cuadro de Muestreo 35A.....	102
Figura 46 - Gráfica de la concentración de individuos por cm ² en el Cuadro de Muestreo 35B.....	102
Figura 47 - Gráfica de la concentración de individuos por cm ² en el Cuadro de Muestreo 36A.....	103
Figura 48 - Gráfica de la densidad de individuos por cm ² en el Cuadro de Muestreo 36B.....	103

Figura 49 - Gráfica de la densidad de individuos por cm ² en el Cuadro de Muestreo 37A.....	104
Figura 50 - Gráfica de concentración de individuos por cm ² en el Cuadro de Muestreo 37B.....	104
Figura 51 - Gráfica de la distancia media entre individuos real y esperada.....	106
Figura 52 - Gráfica sobre la Diversidad de los grupos fósiles en los cuadros de muestreo.....	110
Figura 53 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el Cuadro 35A.....	110
Figura 54 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el Cuadro 35B.....	111
Figura 55 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el Cuadro 36A.....	111
Figura 56 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el Cuadro 36B.....	111
Figura 57 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el Cuadro 37A.....	112
Figura 58 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el Cuadro 37B.....	112
Figura 59 - Orientación de individuos fósiles.....	121
Figura 60 - Localización del área de El Doctor.....	124
Figura 61 - Mapa geológico de la zona de El Doctor.....	131
Figura 62 - Ubicación de las secciones estratigráficas parciales levantados en el área de El Doctor.....	132
Figura 63 - Foto del Tramo 1 de calizas grises laminadas.....	134
Figura 64 - Foto del Tramo 2 de "floatstone" bioclástico.....	135
Figura 65 - Foto del Tramo 5 de calizas micríticas.....	137
Figura 66 - Columnas estratigráficas Tepozán, La Vega y Culebras.....	138
Figura 67 - Foto del Tramo 3 de calizas bioclásticas grises.....	140
Figura 68 - Foto del Tramo 3 de calizas bioclásticas con "rudstone" bioclástico.....	140
Figura 69 - Foto del Tramo 3 de calizas bioclásticas.....	142
Figura 70 - Columnas estratigráficas Lázaro, Arroyo y Dolina.....	145
Figura 71 - Columnas estratigráficas Charco Verde, Charco largo y Agua Salada.....	149
Figura 72 - Ubicación de puntos de muestreo en el área de El Doctor.....	151
Figura 73 - Modelo facial de la Plataforma Aislada de El Doctor.....	159
Figura 74. - Foto de la Microfacies 1 - "Floatstone" bioclástico.....	165

Figura 75. - Foto de la Microfacies 2 - "Rudstone" bioclástico.....	165
Figura 76. - Foto de la Microfacies 3 - "Boundstone".....	166
Figura 77. - Foto de la Microfacies 4 - "Wackestone" bioclástico.....	166
Figura 78. - Foto de la Microfacies 5 - "Mudstone" bioclástico.....	167
Figura 79. - Foto de la Microfacies 6 - "Packstone" de miliólidos.....	167
Figura 80. - Foto de la Microfacies 7 - "Grainstone" de miliólidos.....	168
Figura 81. - Foto de la Microfacies 8 - "Packstone" peloidal.....	168
Figura 82. - Foto de la Microfacies 9 - "Wackestone" de miliólidos.....	169
Figura 83. - Foto de la Microfacies 10 - "Grainstone" bioclástico.....	169
Figura 84. - Foto de la Microfacies 11 - "Mudstone" de miliólidos.....	170
Figura 85 - Ubicación de las Facies El Angel y Cerro Ladrón en la Fm. El Doctor.....	171
Figura 86 - Modelo idealizado de plataforma aislada.....	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Resumen de las características de las facies de la Fm. El Abra en la zona de El Madroño	49
Tabla 2 - Abreviaturas usadas para el análisis microfacial de las áreas de El Doctor y El Madroño	72
Tabla 3a - Resultados del análisis microfacial en El Madroño	73
Tabla 3b - Resultados del análisis microfacial en El Madroño. Continuación	74
Tabla 4 - Distancias Medias por cuadro	95
Tabla 5 - Distancias Medias por grupos	95
Tabla 6 - Resultados del Análisis de Densidad	101
Tabla 7 - Resultados del Análisis de Distancia Media	105
Tabla 8 - Relación M/E	105
Tabla 9 - Resultados del Análisis de Distribución	106
Tabla 10 - Diversidad y Frecuencia de especies	108
Tabla 11 - El Índice Evenness	108
Tabla 12 - Datos de Orientación	115
Tabla 13 - Resumen de las principales características de la Fm. El Doctor	150
Tabla 14 - Resultados del análisis microfacial en El Doctor	157
Tabla 15 - Correlación estratigráfica entre la Fm. El Abra y la Fm. El Doctor	174

RESUMEN

El presente trabajo estudia la estratigrafía y paleontología de una porción del extremo SE de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, y del banco calizo El Doctor, pertenecientes al Cretácico "Medio" en la Sierra Gorda del Estado de Querétaro.

La Plataforma Valles-San Luis Potosí ha sido ampliamente estudiada con fines económico-petroleros durante todo el siglo pasado. Gracias a esos estudios, se ha llegado a conocer extensamente las facies Taninul (arrecifal) y El Abra (post-arrecifal) presentes en ella. Además, se han realizado numerosos estudios sobre los organismos fósiles que la constituyen, los cuales tienen importancia en la prospección petrolera del país.

El Banco calizo El Doctor forma parte de la Sierra Madre Oriental y su transición hacia el Cinturón Volcánico Mexicano. Este consta de sedimentos gruesos de calizas de plataforma y borde de plataforma, cuyos depósitos más jóvenes han sido removidos por erosión. Los fósiles predominantes son rudistas formadores de arrecifes y foraminíferos bentónicos del Albiano-Cenomaniano.

En este estudio se realizó una correlación estratigráfica y el análisis microfacial en las localidades de El Madroño y El Doctor, en las facies arrecifales y post-arrecifales de ambas plataformas (Taninul/El Abra y Cerro Ladrón/El Ángel respectivamente) con el objeto de comparar la secuencia microfacial y el contenido de macro y microfósiles. De acuerdo a estos datos se pretende corroborar si ambas plataformas corresponden a la misma Formación como se ha considerado hasta ahora.

Estos datos se complementaron con datos bioestadísticos de las bioconstrucciones de rudistas y organismos asociados en la facies arrecifal Taninul de la localidad de El Madroño. Ahí se realizaron mediciones de orientación, densidad relativa, porcentajes de fragmentación, diversidad, etc. con el fin de interpretar diversos aspectos sobre paleoecología, ambientes de depositación, etc. Esto para decidir si los bancos bioconstruidos realmente formaban verdaderos arrecifes o si deben ser considerados como montículos arrecifales, como es mencionado por algunos autores.

Se levantaron, además secciones estratigráficas en ambas zonas de estudio. En la localidad de El Madroño se obtuvieron tres perfiles, dos de carácter puramente descriptivo y uno, de 518 m de espesor, medido en la facies (lagunar o post-arrecifal) de la Formación El Abra. La dificultad para medir buenos afloramientos, no ha permitido conocer el espesor real de dicha Formación, debido a que la base de la misma no aflora y la cima esta erosionada. Se encontró, además que esta zona esta siendo afectada por procesos kársticos que dificultan realizar estudios estratigráficos detallados. Hay que añadir que la facies Taninul de la Formación El Abra cuenta con una localidad fosilífera muy importante de bivalvos (rudistas) los cuales han captado la atención de especialistas en el ámbito

internacional debido a su excelente conservación y proceso de disolución de la matriz que los contiene. Esto debido a procesos climáticos de humedad, concentración de materia orgánica, que provoca la liberación de dichos fósiles, permitiendo el estudio de estos organismos y su fauna asociada.

Dentro del estudio microfacial se encontraron 10 microfacies standard las cuales pueden ser relacionadas con datos de trabajos de Minero (1983) para la Plataforma Valles-San Luis Potosí y 11 microfacies para la Formación El Doctor.

Por conclusión se obtiene a partir de este estudio que las dos plataformas son individuales, contemporáneas y muy similares en cuanto a facies, litología y contenido fósil. Ambas han evolucionado de forma diferente y por lo tanto no forman parte de la misma Formación. Por medio del estudio microfacial se encontró que no forman montículos arrecifales como se pensaba, sino verdaderos arrecifes y pináculos que sucumbieron al inundarse la plataforma en el Cretácico Superior y formar una capa bioclástica considerable.

Los datos bioestadísticos muestran que existen dos orientaciones preferenciales NE-SW y NW-SE. Se observó un paralelismo o concentración tomando poblaciones aisladas, por lo que se cree que existían zonas de corrientes de energía media, que favorecieron que los organismos se depositaran sin ser transportados por largas distancias.

1. - INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudia la estratigrafía con énfasis en la paleontología de una porción de las plataformas carbonatadas Valles-San Luis Potosí y El Doctor pertenecientes al Cretácico "Medio"* (Albiano-Cenomaniano) en el centro-orienté de México. Están separadas 27 kilómetros por la cuenca epicontinental de Zimapán (Carrillo-Bravo, 1971; Wilson *et al.*, 1955; Suter, 1987). Sobre estas se han depositado en algunas regiones rocas volcánicas cenozoicas. Tienen características litológicas, estructurales y de contenido fósil muy semejantes, por lo que se pretende que este estudio defina si se debe considerar a ambos depósitos como una misma Formación geológica o dos muy relacionados.

Las áreas de interés se encuentran comprendidas en dos plataformas carbonatadas, una de ellas ampliamente estudiada con fines económico-petroleros (Plataforma Valles-San Luis Potosí) y la otra de menor tamaño, conocida como banco calizo El Doctor (Figura 1). Ambas constituidas por rocas jurásicas y cretácicas intrusiónadas por rocas ígneas de composición granodiorítica del Terciario Inferior (Cárdenas-Vargas, 1992).

La Plataforma Valles-San Luis Potosí está constituida por depósitos hechos sobre un basamento de rocas precámbricas, paleozoicas y triásicas, plegadas y falladas, sobre el que se depositó una secuencia delgada de sedimentos marinos del Jurásico Superior y potentes secciones de rocas evaporíticas y calizas de tipo arrecifal y post-arrecifal del Cretácico Inferior, "Medio" y Superior. Tiene una anchura de 225 km y ocupa más de 48,000 km² (Carrillo-Bravo, 1971).

El banco calcáreo El Doctor, está expuesto 40 km, desde su límite norte en Rancho Quemado hasta el sur, donde está cubierto por rocas volcánicas terciarias. La plataforma forma parte de la Sierra Madre Oriental y su transición hacia el Cinturón Volcánico Mexicano, abarca sedimentos gruesos de calizas de plataforma y borde de plataforma, cuyos depósitos más jóvenes han sido removidos por erosión. Tiene un contenido fósil en el que predominan foraminíferos bentónicos y bancos de rudistas del Cretácico "Medio". Tiene más de 50 km de largo y 20 km de anchura máxima. Su forma es elíptica, con un espesor que va de .5 km a 1.5 km (Carrillo-Bravo, 1971). Levantamientos estructurales de campo cerca del área de estudio, demuestran que la Plataforma El Doctor, se extiende aproximadamente 6 km al sur por debajo de una cubierta volcánica y es por lo menos el doble de como originalmente se suponía (Ward, 1979b).

* La división entre Cretácico Inferior y Superior no está marcada en forma natural en gran parte de México, es por eso que Albiano y Cenomaniano están agrupados convenientemente bajo el nombre informal de Cretácico "Medio" (Enos, 1974).

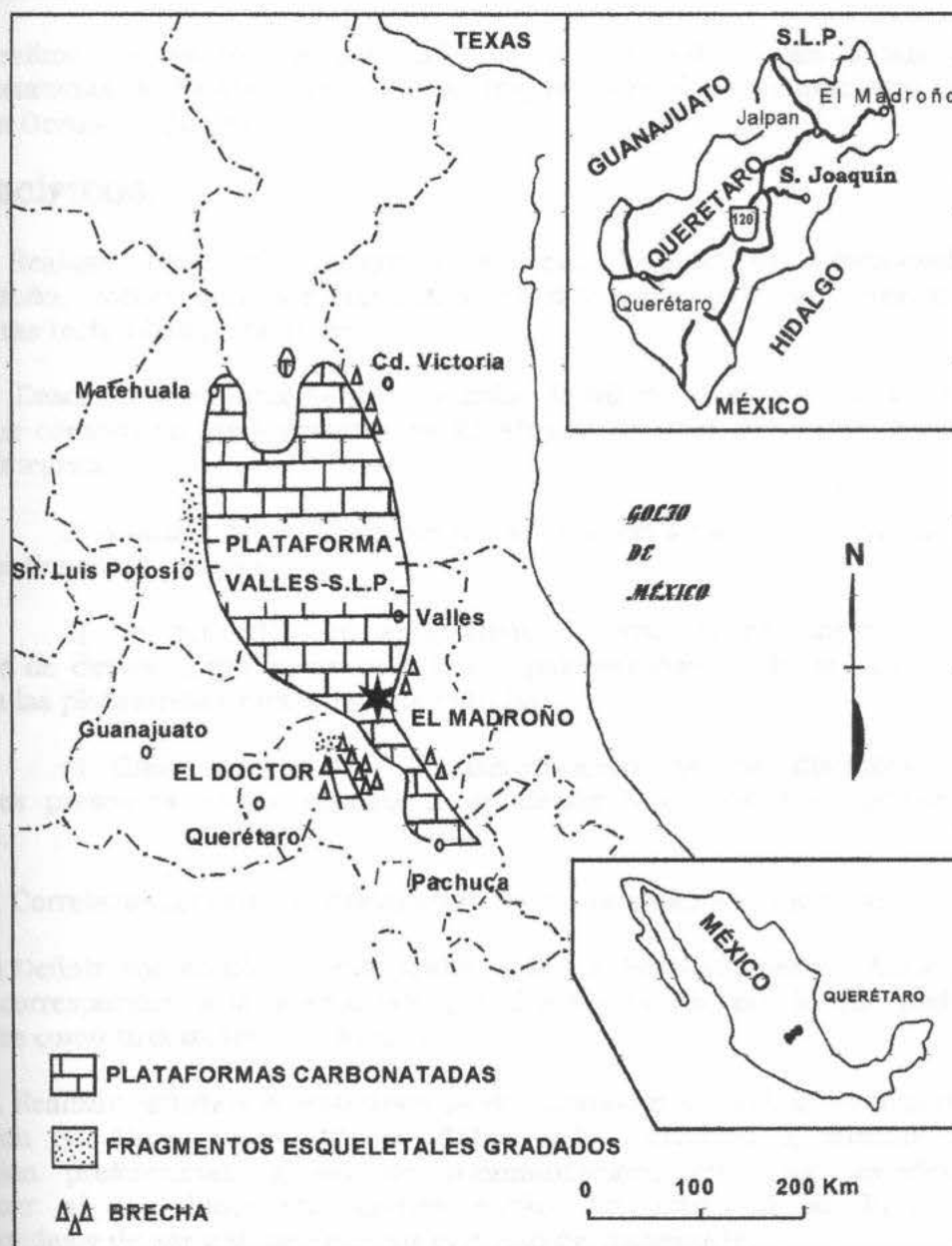


Figura 1 - Ubicación de las Plataformas El Doctor y Valles-San Luis Potosí. Modificado de Rosales-Domínguez, 1998.

2. - OBJETIVOS

• GENERAL:

Realizar un estudio estratigráfico y microfacial de las localidades carbonatadas de El Madroño y El Doctor, del Albiano-Cenomaniano en la Sierra Gorda de Querétaro.

• ESPECÍFICOS:

1. Realizar una cartografía geológica, escala 1:10,000 de la localidad de El Madroño, mostrando las distintas Formaciones que la integran y estructuras tectónicas principales.

2. Describir y complementar lo más detallado posible, las distintas facies que conforman las Formaciones El Abra y El Doctor y las microfacies que las integran.

a) Analizar las microfacies del área seleccionada, en cada una de las Formaciones de estudio.

b) De acuerdo con el análisis de microfacies, interpretar el ambiente de depositación y las relaciones paleoecológicas de la fauna que habitaba las plataformas cretácicas de estudio.

c) Crear un modelo de distribución de los distintos sub-ambientes presentes en la secuencia de depósito de las plataformas en cuestión.

3. Correlacionar estratigráficamente de ser posible, ambas áreas .

a) Definir por medio de este trabajo, si las Formaciones El Abra y El Doctor, corresponden a la misma edad, litología y fauna, por lo que podrían manejarse como una misma Formación.

4. Realizar estudios bioestadísticos de campo en la Facies Taninul de la Formación El Abra, para obtener datos sobre diversidad, abundancia, orientación preferencial, grado de fragmentación, etc. que ayuden a determinar si las bioconstrucciones están "in situ", o si han sido transportadas y de ser así, determinar el grado de transporte.

3. - METODOLOGÍA

3.1. - TRABAJO DE CAMPO

3.1.1. - CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES

Como base para el levantamiento geológico en la localidad de El Madroño, se tomó en cuenta el mapa topográfico 1:50,000 (Hoja Ahuacatlán F14-C39, Qro.-S.L.P., 1981. I.N.E.G.I.).

La cartografía se realizó en la misma zona que en el estudio microfacial abarcando 12 km de largo por 1 de ancho.

Se tomaron 200 mediciones de diaclasas sobre un afloramiento definido de la Fm. El Abra y 300 sobre otro en la Fm. Soyatal, donde existían buenas condiciones de toma de datos. Estas mediciones fueron efectuados con una brújula tipo Clar.

3.1.2. - LEVANTAMIENTO DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS

Se delimitaron visualmente los cambios de facies en las cartas geológicas preexistentes y en fotografías aéreas, escala 1:20,000 tomando como base una serie de transectos en el área de estudio.

Se verificó la posición de las capas sedimentarias y posteriormente, comenzando por la sección más baja, se levantaron las secciones estratigráficas correspondientes para cada área, tratando de abarcar la totalidad de la secuencia. En el área de El Madroño las secciones se realizaron en dirección NE-SW (noreste-suroeste); en el área de El Doctor se hicieron con la misma dirección al oeste del anticlinal El Angel.

Las secciones estratigráficas locales se levantaron atendiendo criterios sedimentológicos (variaciones litológicas y faciales, cambios en los tipos de asociaciones de facies, etc.). Donde no fue posible levantar una sección estratigráfica debido a malas condiciones de afloramiento, se hizo una sección estratigráfica descriptiva con observaciones generales, como las medidas de los planos de estratificación, espesor, etc. Se efectuaron observaciones de campo, tanto de carácter sedimentario como litológico: características de facies, litología, geometría de los estratos, espesor, textura, color, estructuras sedimentarias, presencia de micro (foraminíferos bentónicos principalmente) y/o macrofósiles, además de mediciones eventuales de rumbo y buzamiento en el plano de estratificación.

Durante el levantamiento de las secciones, se colectaron muestras (cuando fue necesario) para poder precisar la textura e identificar variaciones verticales de facies, además de completar la información paleontológica que se obtuvo en campo a partir de los micro y macrofósiles.

3.1.3. - DESARROLLO FACIAL

A partir de un recorrido previo, se delimitó la extensión del área de trabajo, abarcando en El Madroño sólo el techo de la Formación Tamabra, la Facies Taninul y sólo la base de la Facies El Abra (aproximadamente 9 km de anchura). La Formación Tamabra sólo se incluyó como referencia del inicio de la Formación El Abra, en cuanto a la Facies El Abra sólo se incluyeron 500 metros de espesor, siendo representativos para la base de la misma, dejando fuera una anchura aproximada de 1,250 m.

En el banco calizo El Doctor se cubrió el lado oeste del anticlinal El Angel, Facies El Angel (interior de la plataforma) de la Formación El Doctor y la franja marginal de la Facies Cerro Ladrón, abarcando aproximadamente 5 km de anchura.

En ambas áreas se realizó un muestreo sistemático, perpendicular al rumbo de estratificación, cuya única diferencia radica en la distancia de toma de muestras. En la localidad de El Madroño se realizó el muestreo cada 60 m, mientras que en el banco calizo El Doctor se hizo cada 150 m.

3.1.4. - ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO

Se realizaron mediciones y conteos de individuos fósiles que formaban parte de la bioconstrucción de rudistas y organismos asociados, en la Facies Taninul de la Formación El Abra, con el objeto de conocer más sobre la paleoecología de la zona de El Madroño. Se escogió El Madroño, debido a la excelente conservación que presentan los fósiles de esta localidad (Alencáster, 1987, 1988; Alencáster and Aguilar, 1993, 1996; Aguilar, Oviedo y Pichardo, 1997; Alencáster y Oviedo, 1998; Alencáster, 1998).

3.2. - TRABAJO DE LABORATORIO

3.2.1. - CORTE DE LAS MUESTRAS Y PREPARACIÓN DE LAMINAS DELGADAS

Se cortaron aproximadamente 140 muestras en el Laboratorio de Preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra, de la U.A.N.L. en Linares, N.L. Las mismas que fueron cortadas en cubos, pulidas y pegadas en portaobjetos. Las láminas delgadas utilizadas en este trabajo, formarán parte de la colección de la Facultad una vez concluido este estudio.

3.2.2. - DESCRIPCIÓN DE LAS LAMINAS DELGADAS

Para la clasificación textural de las muestras, se han seguido los criterios establecidos por Dunham (1962), Folk (1959, 1962) y Embry & Klovan (1971). Para su descripción e interpretación se han utilizado las propuestas de Wilson (1975, 1986), Flügel (1978), el Atlas de Rocas Sedimentarias de Adams *et al.* (1997), los manuales para láminas delgadas de Majewske (1974) y Scholle (1978), el libro de "Invertebrados Fósiles" de Camacho (1966), el de "Plantas Protistas" de Tappan (1980) y los de Foraminíferos de Loeblich & Tappan (1988) y Cushman (1933).

La descripción de las láminas delgadas se realizó con un microscopio petrográfico Zeiss, con luz polarizada y objetivos de 2.5, 5, 10 y 40x.

3.3. - TRABAJO DE GABINETE

3.3.1. - MAPA Y PERFILES GEOLÓGICOS

Dentro del mapa geológico se delimitaron los contactos entre las Formaciones existentes, se precisaron los límites de facies y se señalan las estructuras tectónicas relevantes en el área de estudio.

3.3.2. - GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se procesaron los datos de diaclasas tomados en campo tanto de la Formación El Abra como de la Formación Soyatal por medio del programa StereoNet 2.46 y se obtuvieron proyecciones estereográficas de las mismas, se analizó el tipo de fracturas predominantes y se determinó si correspondían a un evento tectónico en particular. Esto con el fin de comprobar si la zona tiene elementos tectónicos que puedan influir en los resultados microfaciales.

3.3.3. - COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Se efectuaron columnas estratigráficas locales para cada área, a partir de los datos de las secciones estratigráficas, complementadas con el análisis de las muestras colectadas, a través de láminas delgadas en el laboratorio.

Por medio de las columnas se pudo ubicar con más precisión el contacto entre las distintas facies y Formaciones de estudio con apoyo de los análisis microfaciales realizados.

Una vez concluidas las secciones estratigráficas de ambas áreas se procedió a establecer la correlación litológica de los diferentes estratos con ayuda del contenido fósil (macro y micro) obteniendo isócronas en las distintas secciones.

3.3.4. - ANÁLISIS DE MICROFACIES

En esta etapa se utilizó la Clasificación de las Facies Carbonatadas, por Wilson (1975), Flügel (1982) y Tucker y Wright (1990), y la de Embry & Klovan (1971), con cuyos criterios se analizaron las láminas delgadas, correspondientes a cada área de estudio, ubicándoles un tipo de microfacies "standard" y un número de cinturón del modelo de depositación de facies, ambas de Wilson. De esta forma se pudieron obtener grupos de microfacies para cada zona y realizar asociaciones de las mismas, que fueron útiles para efectuar la correlación bioestratigráfica entre ambas zonas, y crear un modelo de distribución de los distintos sub-ambientes presentes en la secuencia de depósito de las plataformas en cuestión.

3.3.5. - ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO

Con los datos colectados en campo (localidad de El Madroño), se llevaron a cabo análisis de dispersión, densidad, orientación, diversidad, grado de fragmentación, frecuencia interespecífica de especies, etc., por medio de fórmulas bioestadísticas para paleontología (Goldring, 1991) con el objeto de poder interpretar el estado del "arrecife" (si se encuentra "in situ", o si los organismos marinos que lo formaban sólo corresponden a bioclastos transportados por corrientes).

Estos datos se obtuvieron delimitando con hilo flexible, cuadros de muestreo de 25X25 centímetros en tres puntos del muestreo sistemático (MADP35, MADP36, MADP37), en los que se encontraba la mayor cantidad de fósiles. En cada punto se muestrearon dos cuadros, los que se podían ubicar tanto en base o techo del estrato, con lo que en total se obtuvieron 6 cuadros de referencia.

Para cada uno de los análisis se utilizaron distintos métodos y/o fórmulas bioestadísticas (Goldring, 1991), los que fueron aplicados en cada uno de los cuadrantes:

1. Dispersión

-Técnica de "el vecino más cercano".

$$M = \frac{\sum r}{n}$$

M = Media de las distancias observadas

r = Distancia entre individuos con su vecino más cercano

n = Número de medidas

$$D = \frac{n}{\text{área}}$$

2. - Densidad

D = Densidad de individuos en cada cuadrante

$$E = \frac{1}{2\sqrt{D}}$$

E = Distancia media entre vecinos

$$R = \frac{M}{E}$$

R = Medida en que las distancias observadas se alejan del azar

R = 1, indica azar

R = 0, indica máxima agregación de fósiles en un punto

R = 2.15, indica una distribución uniforme

3. Análisis de Orientación

Orientación preferencial de los fósiles. En este análisis los datos fueron agrupados en clases e intervalos a conveniencia, y colocados en un histograma circular.

4. Diversidad y frecuencia de especies

En este punto se analizó cómo era la distribución de especies en cada cuadrante. Esto se hizo por medio del Índice Evenness:

$$e = \frac{\sum \frac{n_i \log n_i}{n}}{\log S}$$

S = Número de especies

n_i = Número total de individuos en una especie

n = Número total de individuos

5. Redondez y fragmentación

En esta sección solamente se tomaron anotaciones sobre el grado de redondez y/o fragmentación que presentaban los fósiles de los cuadrantes señalados.



4. - SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Las áreas estudiadas se sitúan en la región centro-oriental de México, al centro de la Hoja México (1:1,000,000) (Figura 3). Pertenecen a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, formada por grandes sierras alargadas con orientación noroeste-sureste (NW-SE).

Dentro del Estado de Querétaro, se localizan en la parte media oriental (Banco El Doctor) y en la parte noreste (localidad de El Madroño, Figura 2), en el cuadro enmarcado por las coordenadas:

99° 07' 01" - 99° 46' 11" Long. W

20° 53' 3.6" - 21° 18' 11" Lat. N

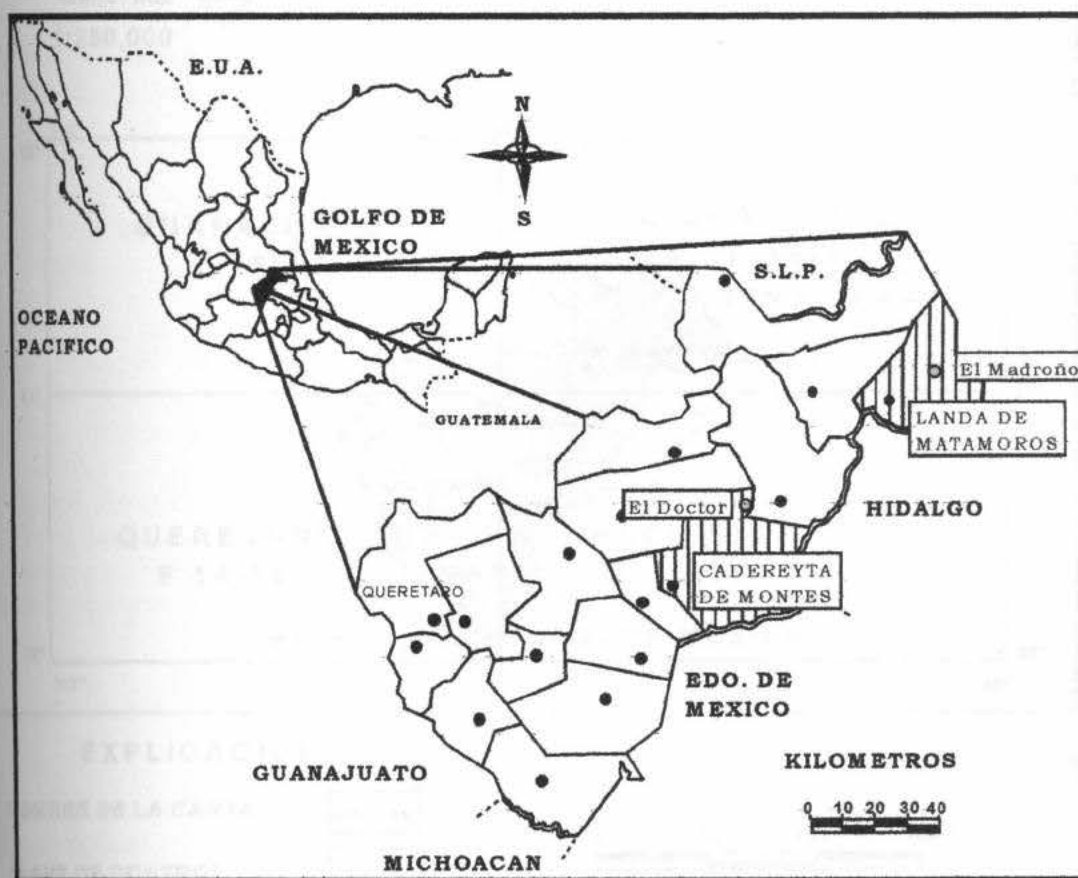


Figura 2 - Localización de las áreas de estudio.

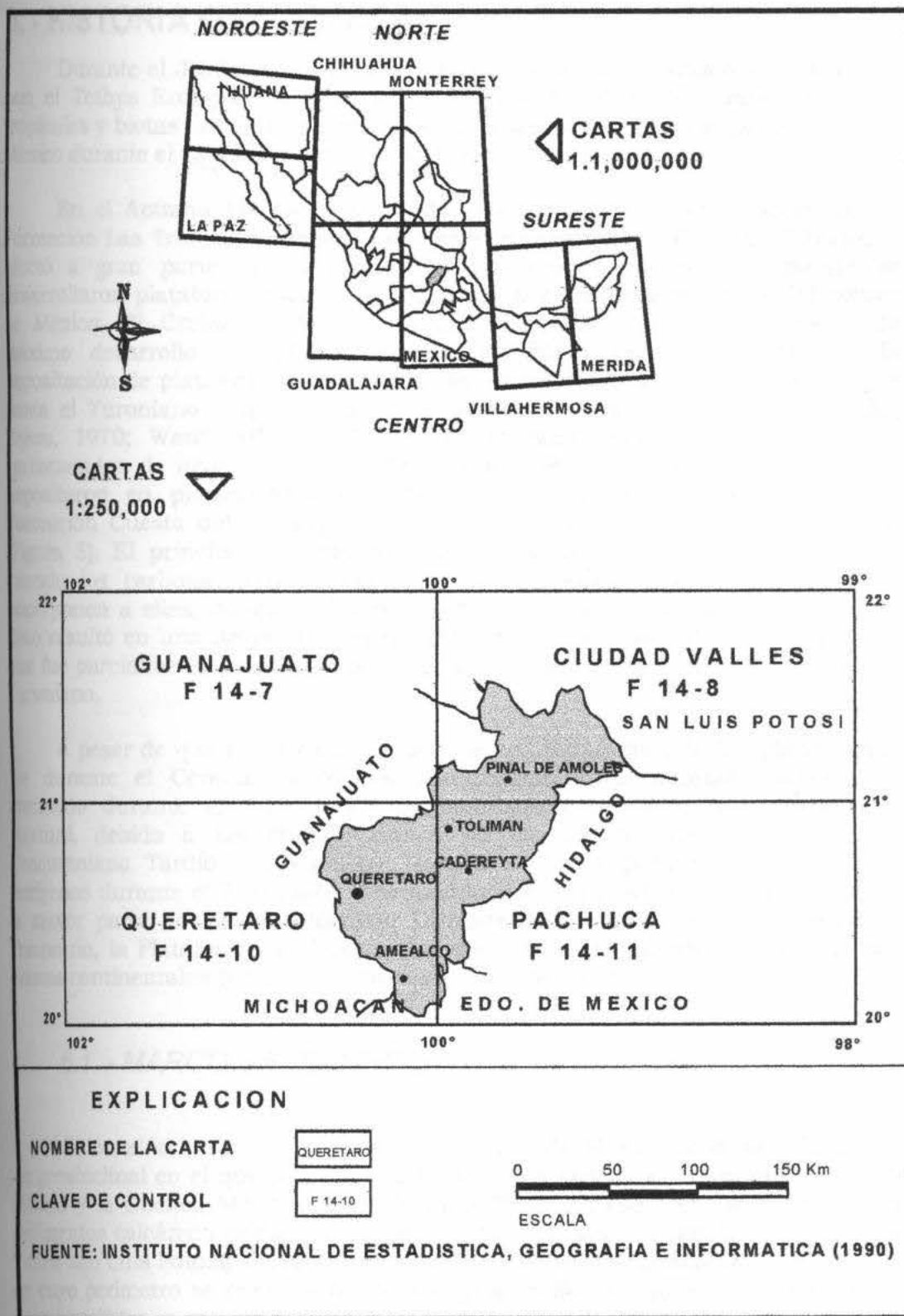


Figura 3 - Cartas de I.N.E.G.I. en las que se encuentran las áreas de estudio. Modificado de Cárdenas-Vargas (1992).

5. - HISTORIA GEOLÓGICA

Durante el Jurásico y Cretácico, el proto-Golfo de México se conectaba con el Tethys Europeo, lo que permitió la expansión de medios marinos tropicales y biotas del Tethys (como los rudistas) a la región del proto-Golfo de México durante el Cretácico Temprano (Frakes, 1979).

En el Aptiano los carbonatos de cuenca de la parte superior de la Formación Las Trancas sufrieron un evento transgresivo (Bloxsom, 1972) que afectó a gran parte de la Costa del proto-Golfo, subsecuentemente se desarrollaron plataformas de agua somera sobre una extensa área del centro de México. El Cretácico "Medio" (Albiano-Cenomaniano) fue la época de máximo desarrollo de plataformas y contraste de facies, aunque la deposición de plataformas carbonatadas bien definidas continuó localmente hasta el Turoniano y quizás hasta el Maastrichtiano (Viniegra & Castillo-Tejero, 1970; Ward, 1979a) (Figura 4). Durante esta época, sedimentos carbonatados de agua somera de las Formaciones El Abra y El Doctor, se depositaron en plataformas, mientras que carbonatos de cuenca de la Formación Cuesta del Cura y Tamaulipas se depositaron al mismo tiempo (Figura 5). El principal periodo de sedimentación de las plataformas cesó cuando los carbonatos de cuenca de la Formación Cuesta del Cura se superponen a ellas, durante el Cenomaniano Tardío o Turoniano Temprano. Esto resultó en una delgada capa de sedimentos carbonatados de cuenca, la que fue parcialmente removida por exposición sub-aérea y erosión durante el Turoniano.

A pesar de que el máximo periodo de sedimentación de las plataformas fue durante el Cenomaniano, las plataformas carbonatadas continuaron creciendo durante el Turoniano. La sedimentación pudo ser continua o puntual, debido a las transgresiones de los carbonatos de cuenca del Cenomaniano Tardío - Turoniano Temprano. La superposición de clastos terrígenos durante el Turoniano (Formación Soyatal y Méndez), al final cubrió la mayor parte de las plataformas. Durante el Cretácico Tardío y Terciario Temprano, la Plataforma El Doctor fue deformada y cubierta localmente por clastos continentales terciarios y volcánicos (Suter, 1987).

5.1. - MARCO GEOLÓGICO

Se considera que la parte centro oriental de México se desarrolló como un geosinclinal en el que se individualizaron dos cuencas, el Antiguo Golfo de México y la Cuenca Mesozoica de México (Tardy, 1980). Ahí se depositaron sedimentos calcáreos pelágicos, separados por un alto topográfico (Plataforma Valles-San Luis Potosí) sobre la que se desarrolló una sedimentación nerítica y en cuyo perímetro se construyó una franja arrecifal flanqueada por depósitos post-arrecifales y pre-arrecifales en un conjunto denominado Formación El Abra (Carrillo-Bravo, 1971), en el Cretácico Inferior.

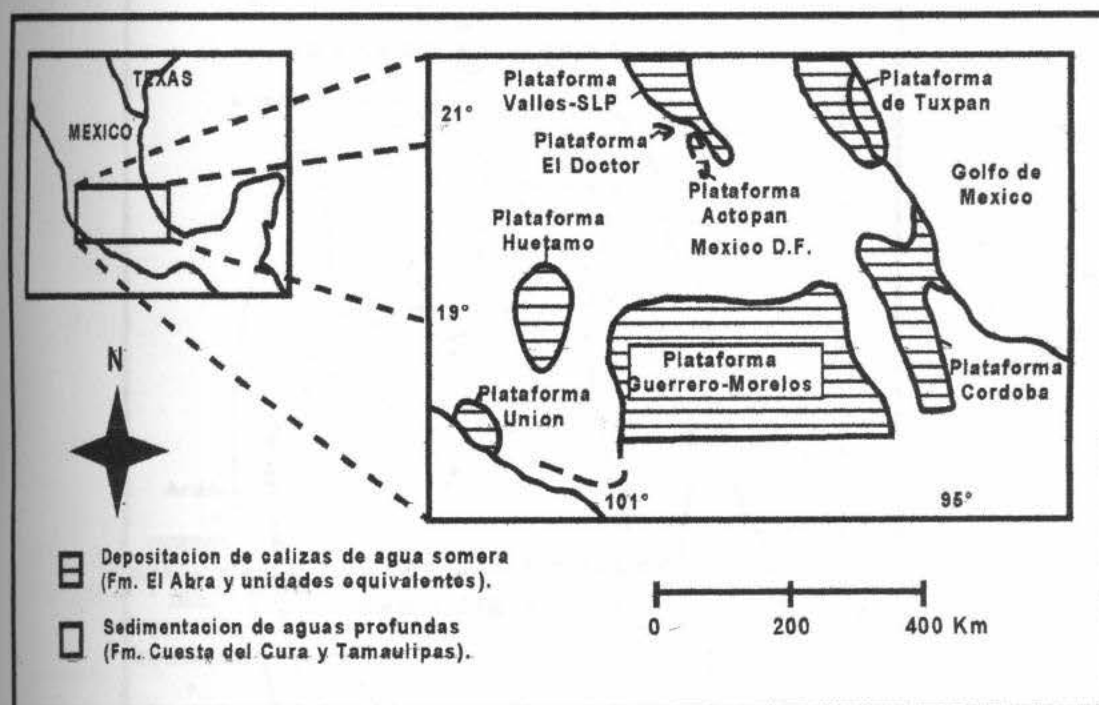


Figura 4 - Plataformas carbonatadas del centro de México durante el Cretácico "Medio".
Modificado de Ward, 1979b.

La litología de las plataformas de estudio está constituida por depósitos carbonatados principalmente de calizas que tienen en general unos 1,500 a 2,000 m de espesor (Wilson *et al.*, 1955; Ward, 1979a). La facies del borde de plataforma contiene bioconstrucciones* de rudistas y calizas bioclásticas oolíticas de textura "grainstone-rudstone", con estratificación discontinua no paralela. Estos depósitos al igual que los de talud están en parte dolomitizados (Enos, 1983). Los depósitos del interior de las plataformas crecieron ligeramente hacia fuera (basinward onlapping) sobre la facies de borde de plataforma, están generalmente bien estratificados y contienen evaporitas.

La litoestratigrafía de la región de El Doctor consiste de rocas carbonatadas cretácicas con pronunciados cambios de facies, en parte dadas por rocas margo-arcillosas Js-Ki de la Formación Las Trancas y las Formaciones Soyatal-Méndez (Segerstrom, 1961, 1962; Enos, 1974; Ward, 1979a; Carrillo y Suter, 1982; González-Arreola & Carrillo-Martínez, 1986; Buitrón *et al.*, 1995). La estructuración del sector aquí discutido consiste de cabalgaduras en las márgenes de las dos plataformas, donde ocurre un cambio de espesor de las rocas del borde de plataforma más espesas y mecánicamente más competentes que las facies de cuenca. De igual manera las rocas de la cuenca de Zimapán se trasladaron por encima de la Plataforma Valles-San Luis Potosí con traslapes de varios kilómetros, sobre el borde de la plataforma (Suter, 1982a, 1982b, 1987; Suter *et al.*, 1997).

* Término utilizado en lugar de "arrecife", para nombrar acumulaciones gruesas de restos de rudistas transportados o pequeñas barreras compuestas de restos esqueléticos que formaban un substrato sólido, sobre la que vivía una capa discontinua de rudistas y organismos asociados.

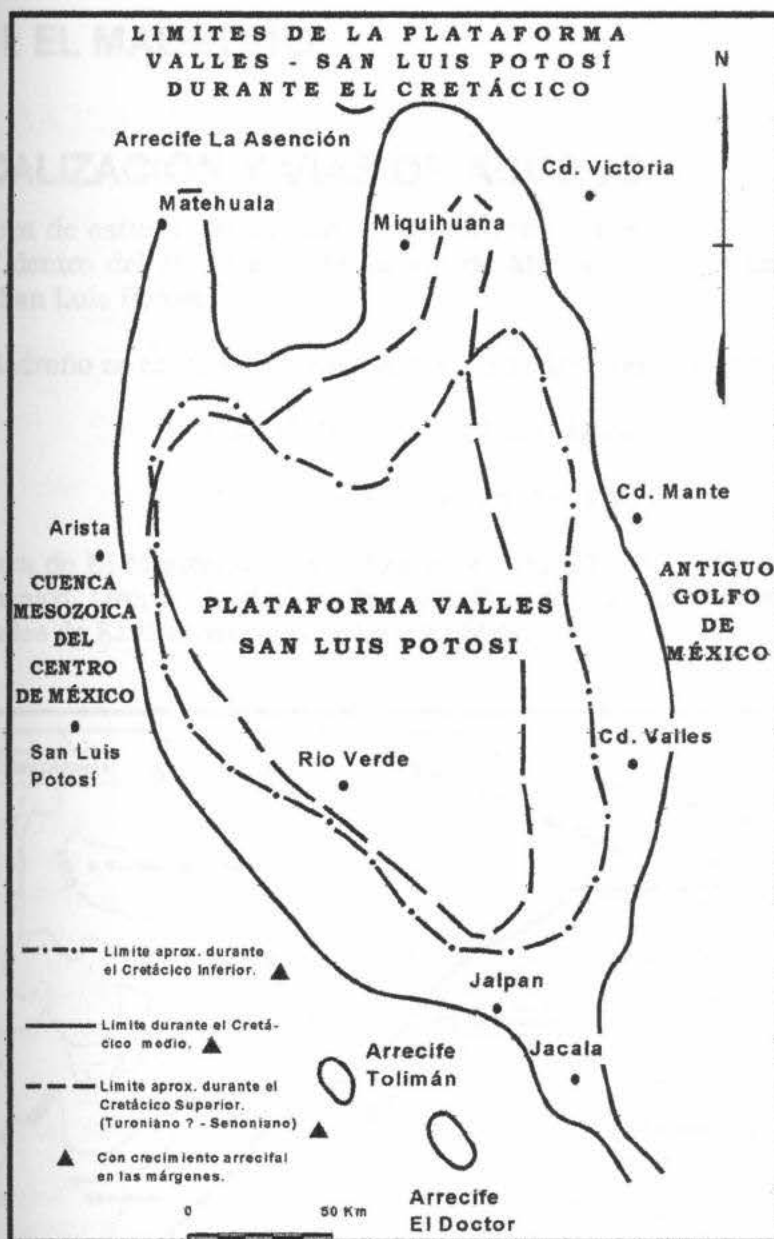


Figura 5 - Plataformas Valles-San Luis Potosí y El Doctor durante el Cretácico. Modificado de Carrillo-Bravo, 1971.

La geometría de estas plataformas pudo haber sido controlada en dirección norte-sur, en parte por fallas normales anteriores (Jurásico Medio y Superior). Según Carrasco (1970), es probable que el banco calcáreo El Doctor forme parte de la Plataforma Valles-San Luis Potosí ya que su parte externa meridional rumbo a esta última, está cubierta por rocas volcánicas.

PARTE I: EL MADROÑO

6. - LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se localiza en el extremo noreste (NE) del Estado de Querétaro, dentro del Municipio de Landa de Matamoros a 6 km al oeste del límite con San Luis Potosí.

El Madroño se encuentra enmarcado entre las coordenadas:

99° 07' 01" - 99° 12' 02" Long. W

21° 15' 9.8" - 21° 18' 11" Lat. N

El área de El Madroño se localiza en el km 233 de la Carretera Federal 120 de Amealco, Qro. a Ciudad Valles, S.L.P. y dentro de ella se encuentran las localidades de El Madroño, El Lobo y El Retén.

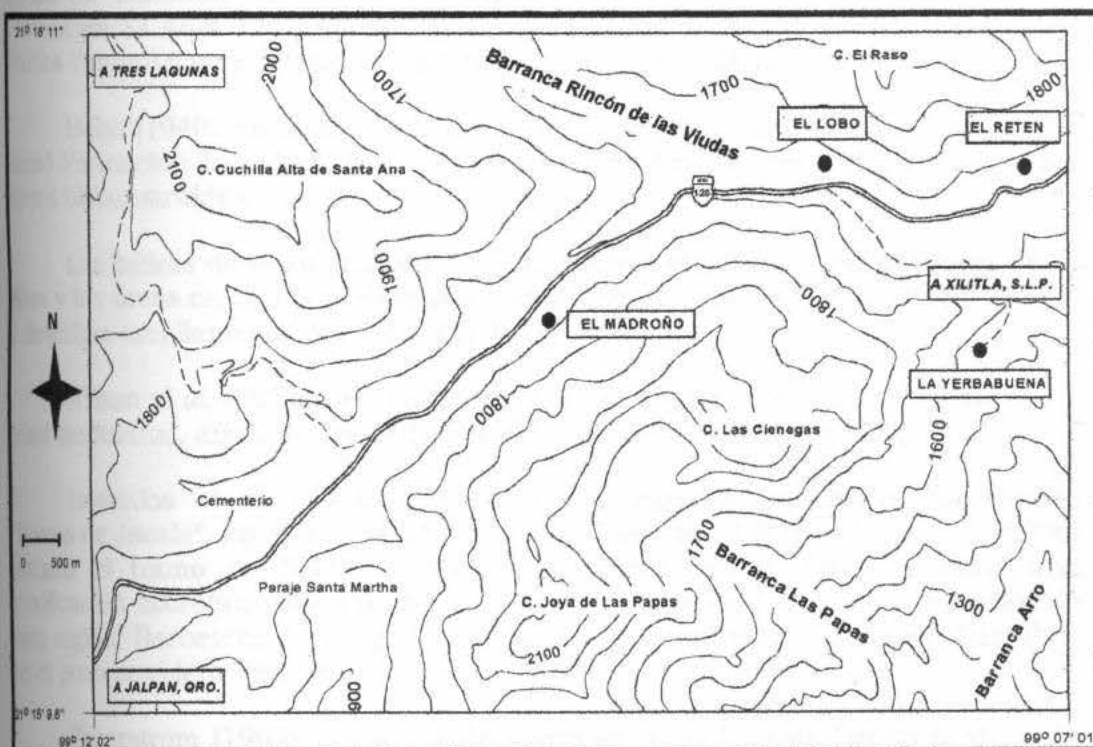


Figura 6 - Localización del área de El Madroño. Modificado de I.N.E.G.I., 1981.

Las poblaciones importantes más cercanas son Jalpan, Qro. a 53 km al oeste y Xilitla, S.L.P. a 31 km al este. El área se encuentra a 240 km por carretera de la ciudad de Querétaro.

7. - TRABAJOS PREVIOS

Boehm (1899) estudia por primera vez los rudistas de las rocas de la Sierra de El Abra en San Luis Potosí. Más tarde Böse (1906) estudia en el mismo lugar los fósiles de lamelibránquios y gasterópodos.

Garfias (1915) cita por primera vez el término "Caliza El Abra" al estudiar la región petrolera del noreste de México. A partir de 1924 se utiliza el nombre de Miembro Taninul de la Caliza El Abra, por geólogos de PEMEX que trabajaban en la región de Tampico, Tamps.

Heim (1926) hace un estudio sobre las calizas de la Sierra de El Abra y áreas cercanas. Adkins (1930) años después, amplía el estudio de Boehm y Böse sobre los rudistas de las rocas de la Sierra de El Abra asignándolos a la Serie Comanche.

Kellum (1930) eleva a la Caliza El Abra a la categoría de Formación y la divide en "Miliolina Phase" y "Taninul Phase". Posteriormente el nombre de Formación El Abra fue aplicado por Muir (1936) para agrupar a dos facies: Facies Taninul (con rudistas) y Facies El Abra (con miliólidos).

Heim (1940) halla al oeste de la Faja de Oro, un banco calizo al que llamó Formación Tamabra, con calizas clásticas biocalcáreas, derivadas de las zonas bioconstruidas.

Las calizas de la Formación El Abra fueron estudiadas en la Sierra de El Abra y las áreas cercanas a ellas por Heim (1926), Adkins (1930), Nigra (1951) y descritas ampliamente por Bonet (1952).

Wilson *et al.* (1955) describen la Formación Soyatal (grupo de calizas de edad turoniana), aflorante en la región de Zimapán y Jacala, Hidalgo.

Bodenlos *et al.* (1956) poco después estudian el rasgo fisiográfico "Banco de Jacala", en el que se ubica la localidad de El Madroño. Bonet (1956) estudia el tramo de Xilitla, S.L.P. hasta Ahuacatlán, Qro., y hace una zonificación microfaunística de las calizas del Cretácico y Jurásico Superior de esta región; Barnette & Illing (1956) por su parte estudian la caliza Tamabra en el pozo petrolero Poza Rica.

Segerstrom (1962) y más tarde Carrasco (1971), estudiaron la delgada franja de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, que está cubierta por rocas volcánicas más recientes.

Cserna *et al.* (1963), estudian las rocas de la facies pre-arrecifal de la Formación El Abra, al poniente de la Sierra de Alvarez, S.L.P. Bonet (1963) por su parte reporta asociaciones de foraminíferos bentónicos en la Sierra de El Abra y propone el uso de Formación Poza Rica para sustituir el término Tamabra; además de estudiar la fauna fósil de la facies arrecifal de la

Formación El Abra (1952, 1963). Rose (1963) por otro lado hace una comparación de la Sierra de El Abra con la Caliza Edwards, al sur de Texas.

Hendricks y Wilson (1967) usa el término de "Plataforma de la Sierra de El Abra" para ilustrar los arrecifes de las Series Comanche en México.

Griffith *et al.* (1969), confrontan la distribución de los arrecifes modernos de Florida y las Bahamas, con el banco bioconstruido de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. Además de estudiar los fósiles de la Facies Taninul de la Formación El Abra, la diagénesis y la sedimentación de los carbonatos de plataforma y talud. Carrillo-Bravo (1969) propone, describe y detalla la Plataforma Valles-San Luis Potosí y hace una exploración geológica para conocer sus posibilidades petroleras.

Becerra (1970) más tarde, estudia el contenido microfósil de la Formación Tamabra, en Poza Rica, Veracruz. Carrasco (1970) mientras tanto hace una revisión de los términos Formación El Abra y Formación El Doctor considerando que la única diferencia que existe es geográfica.

Carrillo-Bravo (1971) hace un compendio de los trabajos exploratorios realizados por PEMEX de 1962 a 1971, en la porción central y centro-oriental de la República Mexicana. En este trabajo se considera a la Plataforma Valles-San Luis Potosí como "futura provincia petrolera". El objetivo del trabajo era definir áreas de mayor interés petrolero. Se tienen registros de trabajos estratigráficos y de geología general realizados por Bonet (1952), Heim* (1926), Muir (1936), Böse (1906), Rose (1963), Roehl (1968) y López Ramos (1964).

Coogan *et al.* (1972) asignaron a las rocas de El Abra una edad general de Albiano-Cenomaniano, llamada informalmente como Cretácico "Medio". Coogan (1973) después estudió la edad de depositación de la Formación El Abra en el centro de México, además de algunos géneros de rudistas en esa Formación.

Enos (1974) por su parte estudia las litofacies de las plataformas carbonatadas del Cretácico "Medio" en el noreste de México. Kauffman & Sohl (1974) discuten sobre la existencia de "arrecifes" de rudistas en la Formación El Abra.

Wilson (1975) estudia el papel de las acumulaciones de bivalvos rudistas en las plataformas carbonatadas ubicadas en el cinturón ecuatorial (antiguo Mar de Tethys), entre los 40° Lat. N y 20° Lat. S. En México en la Plataforma Valles-San Luis Potosí, describe los tipos de microfacies reconocidas en las plataformas carbonatadas de México y Texas, reconociendo 8 litofacies dentro de la Facies El Abra.

Carrasco (1977) estudia la estratificación de talud (Formación Tamabra), en localidades de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Banco de Actopan). Enos (1977) su vez estudia dicha Formación en Poza Rica, Veracruz.

* Autor de los primeros estudios sobre cabalgaduras en México.

Aguayo-Camargo (1978) estudia los foraminíferos planctónicos en la Sierra de El Abra y dice que el espesor total de El Abra es de 1,800 m, además distingue 5 subfacies sedimentarias del Miembro Taninul.

Skelton (1979) estudió las condiciones medioambientales para el crecimiento de los rudistas en esta zona.

Suter (1980) más tarde hizo un estudio estructural en el flanco oeste del anticlinal Cerro Grande, en la Formación El Abra, en Querétaro.

Kiyokawa (1981) hace un estudio estratigráfico y estructural detallado en el estado de Querétaro y definió la edad de la Formación Soyatal, entre Turoniano Tardío y Campaniano, a partir del nanopláncton calcáreo. Suter y Carrillo-Martínez (1981) por su parte estudian la tectónica y la geología estructural de la región comprendida entre Tamazunchale, S.L.P. y Toluca, Qro.

Suter (1982) expone sobre las deformaciones cordilleranas y el potencial petrolero del borde oriental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí y en 1983 realiza estudios sobre el cinturón plegado y cabalgado de la Sierra Madre Oriental en el este-centro de México.

Minero (1982, 1983a, 1983b) y Enos (1982) comparan la historia diagenética y deposicional entre las rocas de El Abra, en la Sierra Madre Oriental y las de la Sierra de El Abra.

Enos (1983) explica después, la extensión y espesor de la Formación Tamabra, cerca de Xilitla, S.L.P., además de la sedimentación y diagénesis del margen de plataforma del Cretácico "Medio", al centro-este de México.

Suter (1984) estudia la deformación cordillerana del margen este de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. Johnson (1984) estudia el ambiente post-arrecifal entre el afloramiento Taninul y Cd. Valles, S.L.P.; además de la paleoecología, petrología y medios de depositación de las facies lagunares dentro de las Formaciones Cupido y El Abra en el noreste de México. Alencáster y Guzzu (1984) por su parte exponen en una sesión de cartel la localidad de El Madroño, Qro., en el III Congreso Latinoamericano de Paleontología, en Oaxtepec, Mor.

Enos (1985) compara los afloramientos de la Facies Taninul, en el margen de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, del Cretácico "Medio", con los reservorios de El Abra, en la Faja de Oro., además de las secuencias diagenéticas visibles; en El Madroño habla sobre los rudistas "in situ". Collins (1985) discute sobre los "arrecifes" de rudistas en la Formación El Abra y Read (1985) mientras establece modelos de facies para las Plataformas Valles-San Luis Potosí y El Doctor.

Smith (1986) estudia las construcciones carbonatadas aisladas del Turoniano y Coniaciano, sobre la porción oeste y central de la Plataforma

Valles-San Luis Potosí y Enos (1986) hace un estudio sobre la diagénesis de las bioconstrucciones de rudistas en la misma plataforma.

Alencáster (1987) describe los fósiles de la localidad de El Madroño, realiza un trabajo paleontológico sobre rudistas y da un listado preliminar de los grupos faunísticos presentes. Suter (1987) por su parte estudia la geología regional con énfasis en la estructural en los márgenes de la plataforma carbonatada Valles-San Luis Potosí.

Collins *et al.* (1988) cuantifican la distribución de la fauna arrecifal en la caliza El Abra, Miembro Taninul, en San Luis Potosí. Alencáster (1988) describe nuevos taxa de rudistas caprinidos en El Madroño, Qro. Collins, Kauffman y Johnson (1988) estudian las biofacies* de rudistas en la Formación El Abra, al noreste de México y Minero (1988) estudia las litofacies del interior de plataforma en la Sierra de El Abra.

Scott (1990) interpreta la Plataforma Valles-San Luis Potosí como aislada, somera y bordeada por bioconstrucciones de rudistas y dice que está separada de la cuenca por brechas de talud. Guzzy (1990) hace un estudio sobre la familia Radiolitidae (rudistas) en la facies arrecifal de El Madroño, Querétaro.

Enos & Stephens (1991) proporcionan datos sobre el relieve y talud (Fm. Tamabra) de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, en El Lobo, Querétaro. Alencáster (1991) a su vez publica sobre la localidad de El Madroño (El Lobo), Qro., resaltando la excepcional conservación de los rudistas que ahí se encuentran.

Wilson & Ward (1993) exponen la importancia de las plataformas carbonatadas de México y proporcionan información sobre las facies de plataforma y cuenca del noreste y este-centro de México. Contreras-Pérez (1993) estudia la distribución de esfuerzos y la formación de inestabilidad mecánica a lo largo de los márgenes de las plataformas carbonatadas de El Doctor y Valles-San Luis Potosí. Valencia (1993) por su parte hace un estudio sobre la evolución tectónica y la historia térmica de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. Alencáster and Aguilar (1993) proponen a *Jalpania queretana* como un nuevo género y especie de rudista caprinido, en El Madroño, Qro.

Buitrón *et al.*, (1995) hacen un estudio sobre la biota del Albiano "Medio" en Ahuacatlán, Qro. dentro de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

En 1996 el área de El Madroño es incluida en la Reserva de la Biósfera "Sierra Gorda", que comprende los municipios de Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Arroyo Seco y parte de Pinal de Amoles y Peñamiller, localizada al norte del Estado de Querétaro. Esa área pertenece a una de las once zonas núcleo que se encuentran en la reserva.

* Se refiere a los aspectos paleontológicos y a las condiciones biológicas reinantes durante el depósito (Vera Torres, 1994).

Aguilar, Oviedo y Pichardo (1997) realizan un estudio taxonómico de las familias de rudistas Caprinidae, Requieridae y Monopleuridae en la localidad de El Madroño, Qro. Además, Suter *et al.* (1997) por su parte revisan la estructura del cinturón plegado y cabalgado de la Sierra Madre Oriental en el centro-este de México, encontrando que el estilo estructural y las series imbricadas formadas en el borde de plataforma y depósitos de talud en la Plataforma Valles-San Luis Potosí son análogas a las que se presentan en los campos petroleros del sureste de México.

Lara-Corona *et al.* (1998) estudian 4 localidades en la Plataforma Valles-San Luis Potosí (incluyendo El Madroño) y proponen un modelo de rampa homoclinal en lugar del modelo tradicional de plataforma aislada (este se discutirá más adelante). Alencáster (1998) y Alencáster y Oviedo (1998) re-examinan algunos géneros de rudistas caprinidos de la localidad de El Madroño.

8. - UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

8.1. - FORMACIÓN TAMABRA (Heim, 1940)

El término fue introducido por Heim (1940) para definir el conjunto de facies calcáreas en la zona de transición entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la cuenca Tampico-Misantla situada al oriente. Este autor distinguió las facies de interior de plataforma o Caliza El Abra, la facies de borde de plataforma o Caliza Taninul y la facies de cuenca o Caliza Tamaulipas. Sin embargo, el término Tamabra se estableció después en la literatura para designar específicamente a los depósitos de talud de la plataforma carbonatada, que corresponden al cinturón de facies 4 de la terminología de Wilson (1975).

En la parte interna del cinturón, la Formación está compuesta por brecha sedimentaria con clastos derivados tanto del interior como del borde de la plataforma. El talud externo, consiste en caliza, en ocasiones gradada, intercalada con caliza micrítica pelágica. En ambas partes puede haber dolomitización total o parcial.

El espesor y la extensión hacia la cuenca varían lateralmente. Enos (1983) analizó la Formación Tamabra a lo largo de la Carretera Federal 120, al oriente de El Lobo, Landa de Matamoros y estimó un espesor de 1,370 m, y dividió la sección en cuatro unidades. La más baja consiste en "wackestone" bioclástico, gradado, con un bloque exótico, seguido hacia arriba por "packstone" bioclástico de estratificación gradada; brecha sedimentaria y en la cima "packstone" con fragmentos de rudistas. Esta última con un espesor de 500 m, también pudiera asignarse a la Facies Taninul, de la Formación El Abra.

De acuerdo con su contenido faunístico y posición estratigráfica, estos sedimentos pre-arrecifales son de edad Albiano-Cenomaniano y son correlacionables con la Formación Tamabra en la Faja de Oro.

8.2. - FORMACIÓN EL ABRA

El término "Caliza El Abra" fue originalmente citado por Garfias (1915) a las calizas de los campos petroleros de la Faja de Oro. La edad Albiano-Cenomaniano fue asignada por Bonet (1963) y se basó en la presencia de los foraminíferos bentónicos *Dictyoconus* y *Orbitolina*. En realidad su edad varía en diferentes localidades, desde el Aptiano hasta el Turoniano (Aguayo-Camargo, 1978) y aún hasta el Coniaciano (Suter, 1987). Trabajos más recientes con rudistas y microfósiles en la zona de El Madroño le dan una edad restringida al Albiano "Medio"-Tardío (Alencáster y Oviedo, 1998; Alencáster, 1998; Rosales-Domínguez, 1998) (Figura 7).

Según Carrillo-Bravo (1971) la Formación El Abra incluye los carbonatos de las Plataformas de Valles-San Luis Potosí y Faja de Oro de edad Albiano-Cenomaniano Inferior (Muir, 1936), y comprende las facies pre-arrecifal o Facies/Formación Tamabra, arrecifal o Facies Taninul y post-arrecifal o Facies El Abra. La localidad tipo se encuentra en el Cañón de El Abra, sobre la carretera Ciudad. Valles, S.L.P.-Tampico, Tamps., aproximadamente a 10 km al oriente de Cd. Valles.

El término Formación El Abra, fue aplicado a un grupo de dos miembros (Kellum, 1930) que después fueron descritos como facies (Muir, 1936; Bonet, 1952), y luego como miembros (Bonet, 1963; Ward, 1979b). En este estudio se dirigirá a ellas como facies: la Facies Taninul (de rudistas) y la Facies El Abra (de miliólidos). A la Facies Taninul se le consideró como más antigua, subyaciendo a la Facies El Abra. Más recientemente, Carrillo-Bravo (1971) incluye a la Formación Tamabra como facies pre-arrecifal de la misma Formación.

El espesor de esta Formación varía en diferentes lugares. Se ha considerado un espesor máximo de 2,000 a 3,000 m para el subsuelo de la plataforma Faja de Oro (Guzmán, 1967; Pedrazzini, 1979).

8.2.1. - Facies Taninul (Muir, 1936; Heim, 1940)

La Facies Taninul tiene su localidad tipo en la estación Taninul, ubicada al oriente de Cd. Valles, S.L.P. El nombre ha sido utilizado desde 1924 por geólogos de las compañías petroleras que operaron en la región de Tampico, Tamps. Consiste de franjas angostas de calizas de color gris claro, con una anchura que varía entre 1.5 y 2.5 km, y longitudes que pueden exceder a los 100 km. Está formada por biohermas tabulares de rudistas (caprinidos, radiolítidos, requiñidos), gasterópodos (nerineas), equinodermos, escasos corales y capas lenticulares de caliza bioclástica de textura "rudstone-grainstone" (cinturones standard 5 y 6 en la terminología de Wilson, 1975), que bordean a la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

La Facies Taninul tiene un aspecto "arrecifal", sin embargo, es raro observar rudistas en posición de crecimiento, aunque sí los hay; la mayor parte están desorientados, poco clasificados y no redondeados, y yacen en una matriz de "grainstone-packstone" bioclástica. Las rocas generalmente son compactas y las únicas zonas porosas se hallan en algunas cavidades dejadas por los fósiles. La porosidad secundaria producida por lixiviación y fracturamiento es notoria, desarrollando un complejo sistema de grietas y cavernas. Esta facies aflora en la Sierra de El Abra, en el frente oriental y al interior de la Sierra Madre Oriental, en el margen oriental del Altiplano Mexicano, en depósitos biocalcáreos como el Banco El Doctor, Tolimán, etc.

En el cerro Sapo se puede observar que los depósitos de las Facies Taninul subyacen parcialmente a las mismas rocas de la Formación El Abra, lo que implica el crecimiento de la plataforma en dirección hacia la cuenca. La Facies Taninul cambia lateral y en parte verticalmente a la Facies El Abra,

hacia el interior de la plataforma; así mismo cambia a la Formación Tamabra hacia la cuenca.

El espesor de la facies posiblemente excede a 2,000 m (Carrillo-Bravo, 1971), pero en ningún sitio se ha encontrado una sección completa que pueda confirmarlo. Por su contenido faunístico se le ha asignado una edad albiana.

8.2.2. - Facies El Abra (Garfias, 1915)

La Facies El Abra (Garfias, 1915; Muir, 1936; Heim, 1940; Carrillo-Bravo, 1971; Wilson, 1975) tiene su localidad tipo en la estación El Abra, situada al oriente de Cd. Valles, S.L.P. Consiste en dolomías en la porción basal de la secuencia litológica (90-350 m), una gruesa secuencia de calcilitas, calizas bioclásticas y calcarenitas con miliólidos y toucasias (rudistas) y calizas parcialmente dolomitizadas, bien estratificadas, con capas de 0.3-3 m, que fueron depositadas en aguas cálidas, claras y poco profundas. Cubren la porción central de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, el extremo suroeste (SW) del Estado de Tamaulipas, la parte media oriental de S.L.P., el extremo NE del Estado de Querétaro y una franja de la parte media del Estado de Hidalgo. Estas facies son las más ampliamente distribuidas en esta plataforma.

En la porción media y occidental de la Sierra Madre Oriental y margen oriental del Altiplano Mexicano se le asignó una edad de Albiano-Cenomaniano, de acuerdo a determinaciones micropaleontológicas (Carrillo-Bravo, 1971).

Wilson (1975) menciona 6 microfacies, dentro de la Facies El Abra. Las litofacies* del interior de la plataforma fueron estudiadas por Griffith *et al.* (1969) y Minero (1983a, 1983b, 1988) en la Sierra de El Abra. Minero encontró 1 microfacies más que Wilson, las que serán comentadas en las conclusiones de este trabajo.

Las rocas post-arrecifales de la Formación El Abra, son correlacionables con las que se hallan en la porción central de la Faja de Oro.

8.3. - FORMACIÓN SOYATAL (White, 1948)

Fue definida por White (1948) para sedimentos marinos que suprayacen a la Formación Tamaulipas, al noroeste de la Cuenca de Zimapan. Corresponden a una secuencia repetida de tipo "flysch".

"En su base estas rocas están compuestas por caliza negra de estratificación delgada y de textura micritica, con intercalaciones de

* Se refiere a los aspectos litológicos de un conjunto de estratos y condiciones físico-químicas que prevalecieron durante el depósito (Vera Torres, 1994).

lutita de color amarillo rojizo. La proporción de lutita es de aproximadamente 50 % y aumenta hacia arriba" (Suter, 1990).

Uno de los afloramientos es la "semi-ventana" tectónica de El Lobo, sobre el borde de la plataforma y que se involucra en este trabajo. En este lugar hay una intercalación de facies de borde de plataforma dentro de la Formación, lo que implica que la plataforma estuvo activa hasta la edad de esta Formación (Ward, 1979b).

Por su contenido faunístico y posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Campaniano Temprano (pertenecer a la zona de foraminíferos planctónicos de *Globotruncana elevata*) y se puede correlacionar con los sedimentos de igual edad de la Formación Agua Nueva. La Formación Soyatal es un depósito de tipo transgresivo, y la presencia de clásticos en forma de limos, arcillas y fragmentos de calizas, indican condiciones inestables en el área donde se originaron (Suter, 1990).

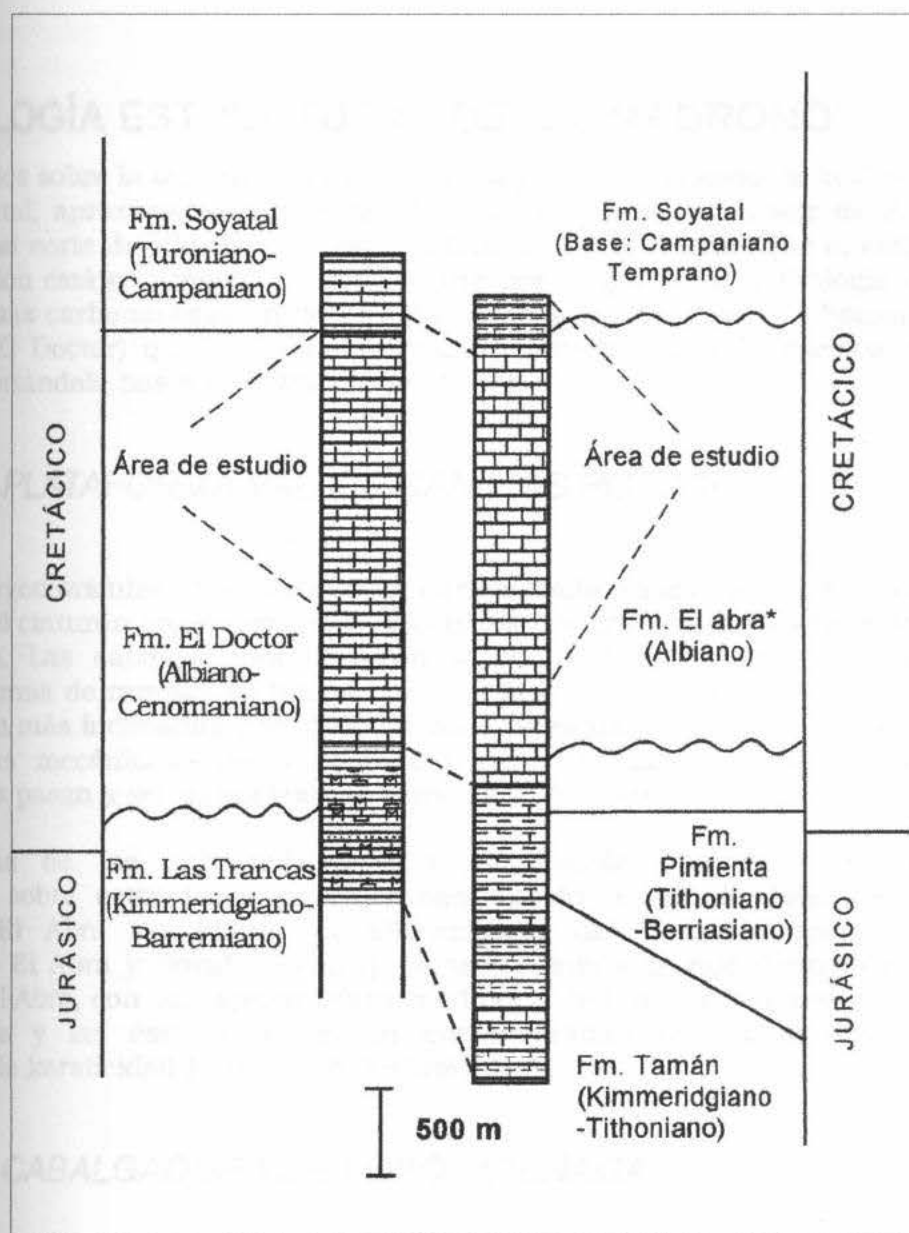


Figura 7 - Columnas estratigráficas regionales Plataformas Valles-San Luis Potosí y El Doctor*. Modificado de Suter, 1990.

* La Fm. Tamabra se encuentra agrupada por algunos autores dentro de la Fm. El Abra como facies pre-arrecifal (Suter, 1990).

9. - GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE "EL MADROÑO".

Estudios sobre la tectónica del cinturón plegado y cabalgado de la Sierra Madre Oriental, aproximadamente sobre los 21° de latitud N, al sur de San Luis Potosí, al norte de Hidalgo y al este de Querétaro, muestran que el estilo de deformación está controlado principalmente por la geometría y litología de las plataformas carbonatadas cretácicas (Plataforma Valles-San Luis Potosí y Plataforma El Doctor) que actuaron ejerciendo presión hacia la cuenca de Zimapán acortándola hasta un 44% (Suter, 1987).

9.1. - PLATAFORMA VALLES-SAN LUIS POTOSÍ

El margen oriental de la plataforma carbonatada Valles-San Luis Potosí y el frente del cinturón orogénico, están afectados por grandes cabalgamientos cordilleranos. Las cabalgaduras cortaron a los carbonatos del Cretácico Inferior en forma de rampas tectónicas de bajo ángulo ($\approx 20^\circ$), que en algunos lugares están más inclinadas por imbricación o plegamiento posterior. Dentro de las rocas mecánicamente incompetentes del Cretácico Superior, las cabalgaduras pasan a ser paralelas a la estratificación (Suter, 1984).

Además de las cabalgaduras, no es posible obtener suficiente información sobre estructuras cordilleranas debido a que la base de la Formación El Abra no aflora, el afloramiento del contacto entre las Formaciones El Abra y Soyatal es muy escaso; además de que dentro de la Formación El Abra, con un espesor aproximado de 1,500 m, no hay horizontes de referencia y las estructuras están enmascaradas por la morfología, producto de la karsticidad (Suter, 1987) (Capítulo X).

9.2. - CABALGADURA DE LOBO - CIÉNAGA

Suter (1990) describe en la Hoja Tamazunchale 14Q-e(5) los elementos tectónicos más importantes de dicha zona:

"Las estructuras cordilleranas en el borde oriental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (al sur de la Carretera Federal 120), se caracterizan por una sucesión de escamas cabalgantes con dirección ligeramente oblicua al borde de la plataforma, entre la carretera mencionada y La Misión, y paralela al borde de la plataforma, al sur de la Misión".

"La mayor de estas escamas es la Cabalgadura de Lobo-Ciénega (Suter, 1984). Su geometría está bien expuesta a lo largo de la Carretera Federal 120, donde un despegue cercano a la superficie se desarrolló en la Formación Soyatal. La falla está formada por un segmento paralelo a

la estratificación del bloque cabalgado, con una inclinación promedio de 2° , una longitud de 3,500 m, y un segmento de inclinación mayor. Existe una rotación parcial de la falla en ambos flancos, posterior al cabalgamiento" (Figura 8).

"Dos interrelaciones tectonizadas de la facies de borde de la plataforma están ubicadas dentro del Cretácico Superior. La más baja de éstas, es paralela a la cabalgadura Lobo-Ciénega, en la semiventana de El Lobo, a lo largo del afloramiento entero de cabalgadura es paralelo a la estratificación. No está claro si la repetición fue ocasionada por migración de los cinturones de facies, o si se trata de una repetición tectónica, lo que incrementaría el acortamiento de manera considerable" (Suter, 1990).

Es difícil establecer la traza de la cabalgadura al norte de la Carretera Federal 120, donde el plano de falla tiene un componente hacia el norte. Ahí, la cabalgadura cruza el contacto entre las Formaciones El Abra y Soyatal y pasa luego dentro de la Formación El Abra. Más al norte se cartografió una cabalgadura en el flanco occidental del Anticlinal Cerro Grande, la que podría ser parte de la continuación de la Cabalgadura de Lobo-Ciénega hacia el norte (Suter, 1990).

9.3. - MECANISMOS DE DEFORMACIÓN

Los mecanismos de deformación causados por la Orogenia Cordillerana fueron en las calizas el deslizamiento capa por capa, el cizallamiento discreto, paralelo y oblicuo a la estratificación, así como estilolitización tectónica. La geometría de los pliegues es angular en las calizas bien estratificadas, como se observa en la facies del interior de la plataforma de la Formación El Abra (Suter, 1990).

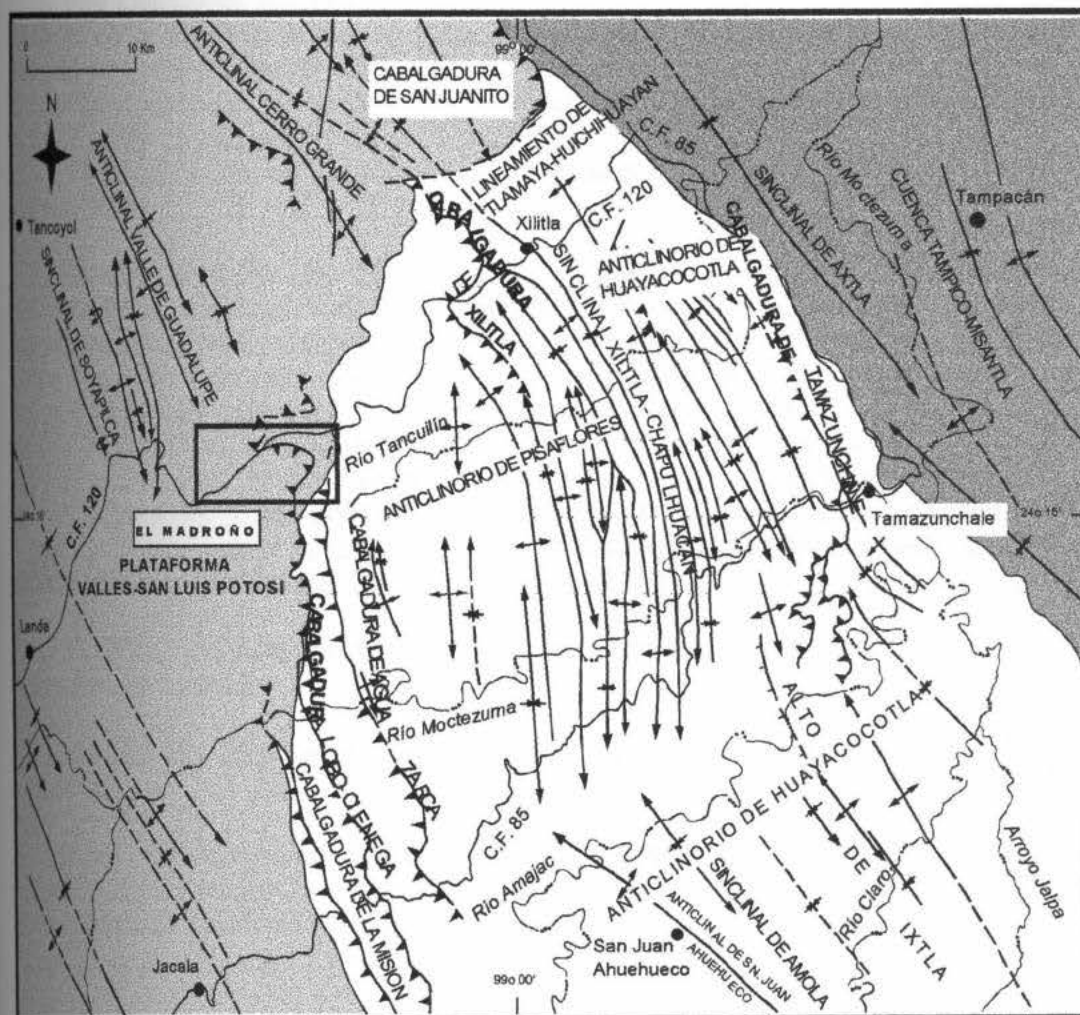


Figura 8 - Mapa tectónico de la zona de El Madroño. Modificado de Suter, 1990.

10. - FENÓMENO KÁRSTICO

Las dolinas y cavernas son un rasgo distintivo de una forma de morfología llamada **karst**. El nombre de karst viene de una región del norte de Yugoslavia y noreste de Italia caracterizados por un terreno irregular de colinas y abundantes dolinas.

La calcita, el principal componente de la caliza, es insoluble en agua pura, pero cuando el mineral es atacado por agua con ácido carbónico (la lluvia se carga de este ácido al mezclarse con el bióxido de carbono de la atmósfera o del material del suelo. Burchfiel *et al.*, 1982), sufre un intemperismo químico. El ácido carbónico reacciona con la calcita para formar bicarbonato de calcio, sustancia soluble que es acarreada en solución ($H_2O + CO_2 = H_2CO_3$) y si no se deposita, eventualmente llegará al océano (Leet & Judson, 1986).

La disolución de la caliza puede adelgazar el techo de cavernas carbonatadas y algunas veces se colapsan produciendo dolinas, que son depresiones pequeñas e inclinadas en la superficie (Press & Siever, 1998). Todas son resultado de disolución, pero algunas son originadas por la remoción de rocas cercanas a la superficie, mientras que otras se forman cuando la superficie se colapsa dentro de una cavidad creada debajo de la superficie. En otras interviene la subsidencia de la superficie en vez del colapso (Figura 9). Una dolina típica tendrá de diez a veinte metros de diámetro y hasta treinta metros de profundidad, pero también puede afectar áreas mucho mayores (hasta de 300 m de diámetro).

El karst es más avanzado en las regiones que presentan tres características básicas:

- Clima húmedo, con abundante vegetación (agua rica en bióxido de carbono).
- Grandes extensiones con Formaciones carbonatadas.
- Gradientes hidráulicos apreciables.

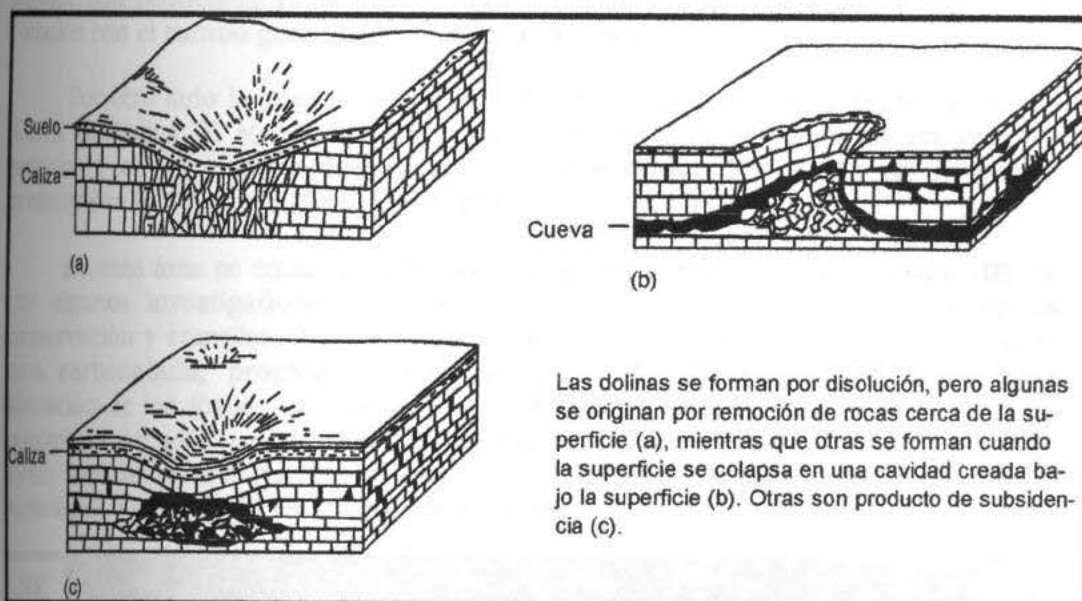


Figura 9 - Procesos de formación de dolinas. Modificado de Spencer, 1983.

La mayoría de las calizas contienen sustancias insolubles que se van acumulando producto de la meteorización química intensa de las rocas suprayacentes, dando lugar a un suelo rojo rico en arcilla, óxido de hierro y pobre en SiO_2 (Foucault y Raoult, 1985). llamado "**terra rossa**". Este suelo es típico en áreas con este tipo de roca (como es el caso de El Madroño), formado durante intervalos de exposición sub-aérea en climas húmedos y cálidos, quedando generalmente acumulado sobre la misma roca madre (depósitos autóctonos) o puede ser transportado posteriormente en disolución o como partículas detríticas hasta su posición actual (depósitos alóctonos) (Vera-Torres, 1994).

En la localidad de El Madroño existen las tres condiciones básicas para la existencia del karst: se encuentra sobre la gran plataforma carbonatada Valles-San Luis Potosí, cubierta en gran parte por un bosque de pinos. Estos, proporcionan gran cantidad de materia orgánica y junto con el clima húmedo durante la mayor parte del año (no llueve todo el año pero la neblina se presenta varias horas durante el día o la noche), origina la formación de humus, liberando gran cantidad de bióxido de carbono. El CO_2 junto con la lluvia o simple humedad forma ácido carbónico que ataca directamente a la roca subyacente (porosidad secundaria). A esto se agrega la morfología abrupta y elevada de la zona, que favorece el escurrimiento del agua cargada de ácido.

En este lugar no se aprecian gran cantidad de afluentes ni cuerpos de agua pero esto no evita que existan escurrimientos a través de las rocas que van formando cavidades que propician la aparición de cavernas y tras su colapso, en dolinas. En el mapa geológico El Madroño (anexo), se pueden ver zonas muy específicas en donde se tiene este tipo particular de geomorfología. Algunas de ellas se encuentran formando grupos cercanos entre sí, que

aunque son pequeñas, presentan cierta orientación preferencial (NW-SE) que coincide con el rumbo general de la estratificación.

Por otro lado la presencia de depósitos de bauxita en la facies arrecifal (Carta Geológica El Madroño), es común en cavidades kársticas en relieves marinos y es un criterio definitivo para determinar intervalos de emersión prolongados (Vera *et al.*, 1986-1987, Molina *et al.*, 1991).

En esta área se enfatiza la importancia de la "terra rossa" (Figura 10), ya que algunos investigadores sugieren que tiene un papel importante en la conservación y completa liberación de los fósiles. Al estar en contacto con la roca carbonatada, propicia la disolución de la matriz y la subsecuente liberación de los fósiles permitiendo el estudio tridimensional de los mismos, resaltando por este hecho a escala nacional e internacional (Alencáster, 1987, 1988; Alencáster and Aguilar, 1993, 1996; Aguilar, Oviedo y Pichardo, 1997; Alencáster y Oviedo, 1998; Alencáster, 1998).

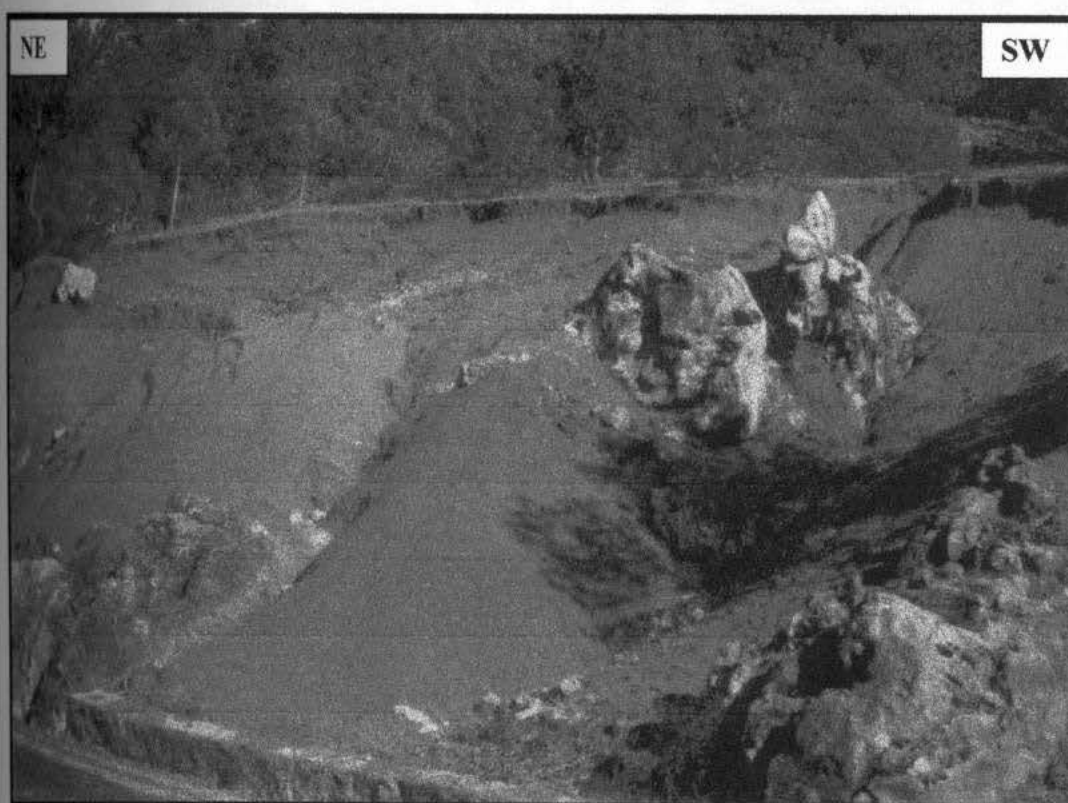


Figura 10 - Foto de la localidad de El Madroño, con su suelo laterítico de "terra rossa".

La localidad de El Doctor también se encuentra en una zona carbonatada (Plataforma El Doctor) no tan extensa como la Valles-San Luis Potosí. Posee vegetación más escasa, se encuentra a una altura mayor que El Madroño con clima relativamente húmedo (presencia de neblina), morfología abrupta y una cantidad considerable de arroyos intermitentes. La presencia de dolinas en esta área no es tan común como en El Madroño, aunque sí existen.

11. - RESULTADOS

11.1. - ANÁLISIS DE FRACTURAS.

Los afloramientos analizados se ubican dentro de las Formaciones El Abra y Soyatal en la zona de El Madroño. El análisis de la red de densidades de fracturas en dichas formaciones (Figura 12), dió a conocer que en el patrón de fracturas observado, predomina en especial la familia de fracturas hk_0 con ángulo agudo al eje a . La interpretación de estas fracturas, se llevó a cabo utilizando la clasificación de Hancock (1985) de fracturas asociadas a pliegues (Figura 11a). Estas fracturas se relacionan con el campo de esfuerzos regional. Por la disposición de estas respecto a la estratificación, indican que se desarrollaron en la etapa temprana de la deformación. Esto obedece, a que la disposición del campo de esfuerzos que desarrolla estas fracturas, muestra que el eje de esfuerzos máximo σ_1 y el eje de esfuerzos mínimo σ_3 , presentan una posición horizontal, mientras que el eje de esfuerzos intermedio σ_2 presenta una posición vertical.

En el área de El Madroño, Suter (1987) estima poco erosionada la Formación El Abra (25% de su espesor total). Tomando como base su sección balanceada A - A' (Figura 11), se calcula que el muestreo paleontológico de este trabajo se hizo a 690 m de la cima de la Formación, en un pliegue asociado a la cabalgadura Lobo - Ciénega.

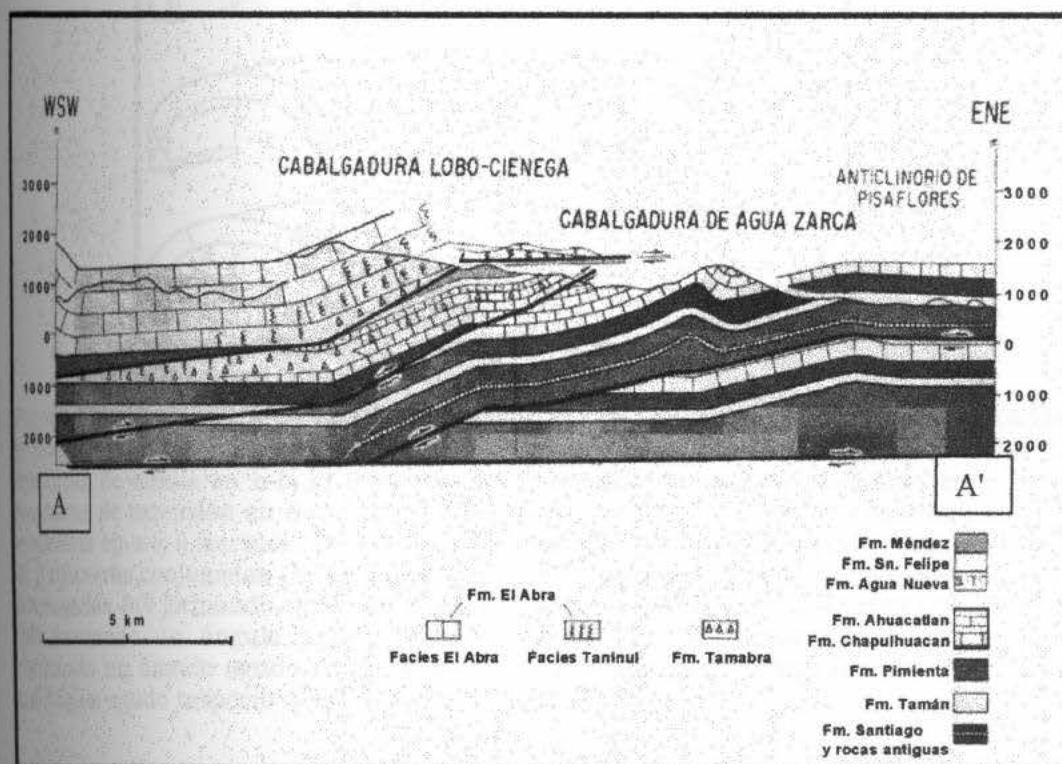


Figura 11 - Sección balanceada en el borde oriental de la Plataforma Valles-S.L.P. al norte del río Moctexuma. Modificado de Suter, 1987.

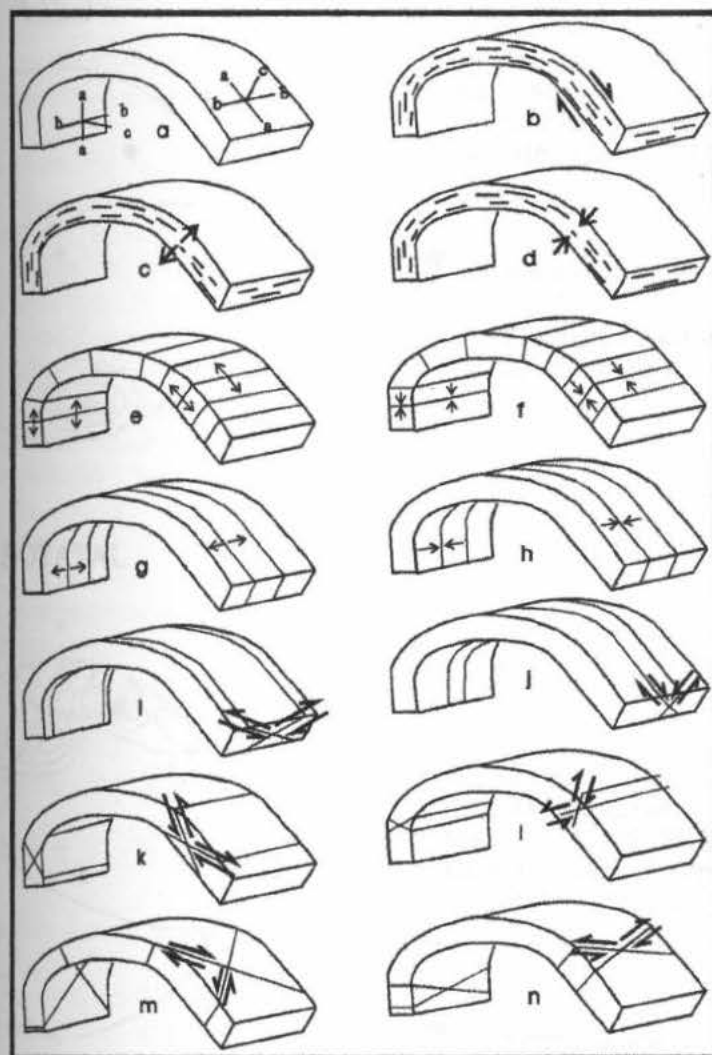
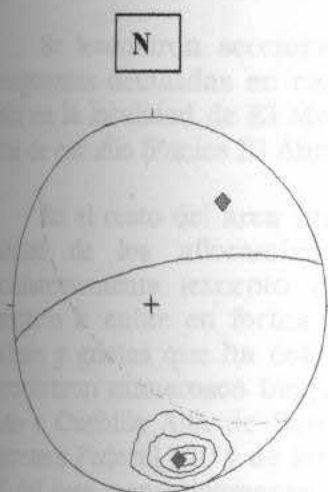


Figura 11a: Clasificación de familias de fracturas con respecto a capas sedimentarias y pliegues según Hancock (1985). a) definición de la orientación de la fábrica; b) fracturas de cizalla en $a-b$; c) fracturas de extensión en $a-b$; d) estilolitas en $a-b$; e) fracturas de extensión en $b-c$; f) estilolitas en $b-c$; g) fracturas de extensión en $a-c$; h) estilolitas en $a-c$; i) fracturas conjugadas Ok_l formando un ángulo agudo respecto al eje b ; j) fracturas conjugadas Ok_l formando un ángulo agudo respecto al eje c ; k) fracturas conjugadas hol formando un ángulo agudo respecto al eje a ; l) fracturas conjugadas hol formando un ángulo agudo respecto al eje c ; m) fracturas conjugadas hko formando un ángulo agudo respecto al eje a ; n) fracturas conjugadas hko formando un ángulo agudo respecto al eje b . (Peterson, 1998).

FM. EL ABRA



Datos Clar
n= 199 Fracturas
Max. Dens. = 18.58 (168/18)
Orientación preferencial: 348/72
Estratificación: 218/58

- Estratificación
- Fracturas hk0 ángulo agudo al eje a

FM. SOYATAL



Datos Clar
n= 293 Fracturas
Max. Dens. = 6.39 (25/18)
Orientación preferencial: 205/72
Estratificación: 315/16

- Estratificación
- Fracturas hk0 ángulo agudo al eje a

Figura 12 - Análisis de las fracturas de la Fm. El Abra y Soyatal.

11.2. - SECCIONES Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Se levantaron secciones estratigráficas y sedimentológicas simples y compuestas detalladas en cada zona, y secciones estratigráficas descriptivas (sólo en la localidad de El Madroño). Las primeras se ubican al límite SW del área de estudio (Facies El Abra o post-arrecifal).

En el resto del área fue imposible levantar secciones debido a la mala calidad de los afloramientos, ya que la Facies Taninul no aflora consistentemente (excepto en zonas muy erosionadas), ya que el suelo laterítico la cubre en forma parcial. La karsticidad provoca la aparición de dolinas y grietas que ha colapsado parte de la secuencia, además de que se encontraron numerosos bloques caídos de la parte superior de los cerros El Raso y Cuchilla Alta de Santa Ana localizados en la parte NE y NW de la Carretera Federal 120 y de los cerros Las Ciénegas y Joya de las Papas al SE Y SW del área respectivamente. (Figura 6). Por tal motivo para la Facies Taninul se han levantado secciones estratigráficas descriptivas, tomando la descripción de los 90 m de la serie estratigráfica levantada por Aguayo-Camargo (1978) en la Sierra de El Abra, más descripciones sedimentológicas puntuales de campo, tipos de textura, espesor y geometría de estratos, estructuras sedimentarias y medición de rumbo y buzamiento en varios puntos de la facies de este trabajo.

Para la Formación Tamabra se tienen descripciones sedimentológicas y datos de Enos (1983), además de datos de campo obtenidos en la sección estratigráfica descriptiva El Retén.

11.2.1. - S. E. DESCRIPTIVA EL RETÉN (PERFIL 1)

Situación Geográfica

Esta sección está situada en el límite este (E) del área de estudio en la localidad de El Retén, sobre la Carretera Federal 120, en el km 239, en donde se encuentra el límite estatal Querétaro-San Luis Potosí (Figura 13). Las coordenadas de esta sección son:

Base: 99° 07' 06" Long. W y 21° 17' 31" Lat. N

Techo: 99° 07' 23" Long W y 21° 17' 27" Lat. N

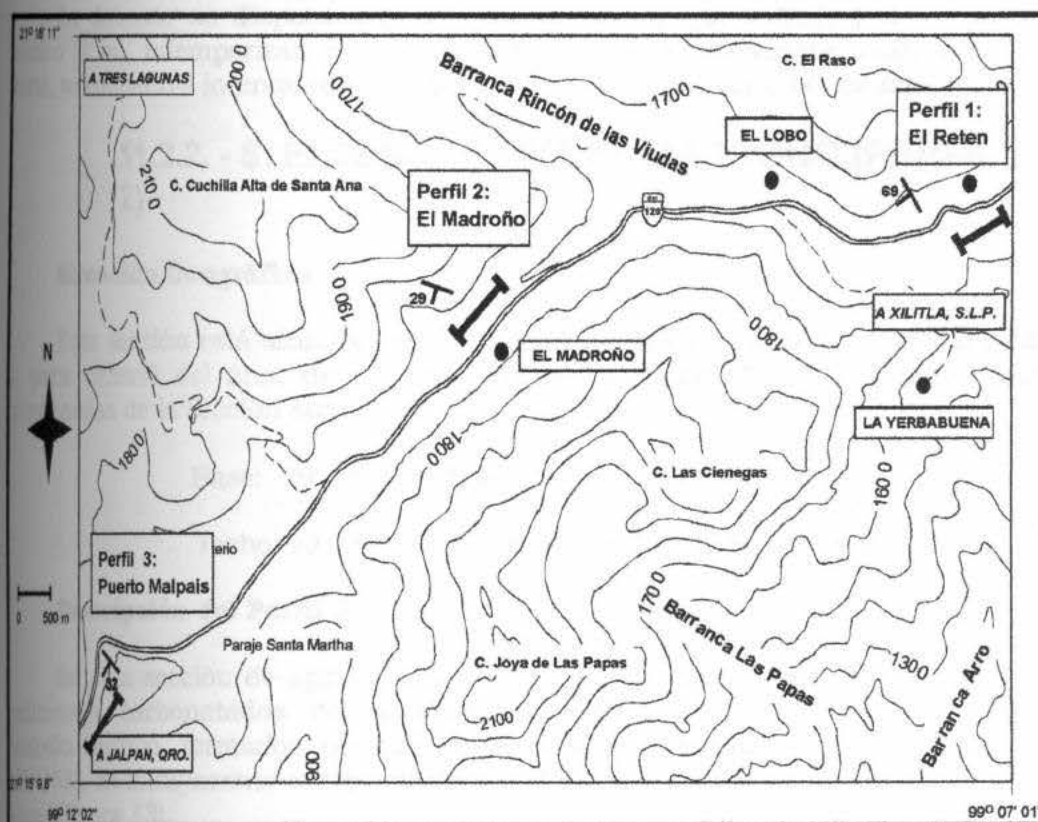


Figura 13 - Localización de las secciones estratigráficas levantadas en el área de El Madroño. Modificado de I.N.E.G.I., 1981.

Descripción del Perfil 1

En esta sección de aproximadamente 500 m de espesor, se identifican sedimentos carbonatados cretácicos de talud de la Formación Tamabra, en posición normal, donde se encuentran calizas grises, brecha sedimentaria y dolomía, con rumbo y buzamiento de $246^{\circ}/53^{\circ}$. El infrayacente corresponde a la Formación Tamabra.

Las calizas color gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (1.5 m), corresponden a "wackestone-packstone" bioclástico (unidad 2 y 3) con estratificación gradada y "packstone" con fragmentos de rudistas (unidad 5)*.

La brecha sedimentaria en rampa interna es de textura "rudstone-floatstone", con clastos del interior y borde de plataforma entremezclados con rudistas poco fragmentados, principalmente de la familia Caprinidae. En rampa externa se encuentra caliza gris en series gradadas, de textura "packstone" bioclástico, intercalada con caliza micrítica pelágica, turbiditas proximales, "flasers" y superficie ferruginosa en el techo.

* Unidades según Enos, 1983.

La dolomía se dispone en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (2 m), intemperizan en colores café y negro, presencia moderada de karst, se encuentra intercalada con la brecha sedimentaria y las calizas.

11.2.2. - S. E. DESCRIPTIVA EL MADROÑO (PERFIL 2)

Situación Geográfica

Esta sección está situada en el km 234 de la Carretera Federal 120, en la parte central del área de estudio, en la localidad de El Madroño. Las coordenadas de la sección son:

Base: 99° 09' 34" Long. W y 21° 17' 08" Lat. N

Techo: 99° 09' 45" Long W y 21° 16' 55" Lat. N

Descripción del Perfil 2

En esta sección de aproximadamente 500 m de espesor, se identifican sedimentos carbonatados de la Formación El Abra, Facies Taninul, en posición normal, formados por calizas grises, con rumbo y buzamiento de 222°/63°. El infrayacente corresponde a la Facies Taninul de la Formación El Abra. (Figura 13).

Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano a masivo (0.45-2 m). Corresponden a "floatstone-rudstone" de rudistas y gasterópodos, ocasionalmente bioturbadas, a "mudstone" de miliólidos, y a "wackestone" bioclástico con fragmentos de esponjas, equinoideos, bivalvos, corales, peloides, foraminíferos bentónicos y ostrácodos. Intemperizan en colores gris-blanco y pardo.

11.2.3. - S. E. PUERTO MALPAIS (PERFIL 3)

Situación Geográfica

Esta sección local esta situada en el km 228 de la Carretera Federal 120, en el límite W del área de estudio, entre el Puerto Malpais y el Paraje Santa Martha. Las coordenadas de la sección son:

Base: 99° 11' 55" Long. W y 21° 15' 39" Lat. N

Techo: 99° 12' 05" Long W y 21° 15' 22" Lat. N

(Figuras 15 y 23)

Descripción

En esta sección de 517.6 m de espesor se identifican de la base al techo, sedimentos cretácicos de la Formación El Abra, Facies El Abra, en posición normal, con rumbo y buzamiento de $218^{\circ}/52^{\circ}$. El infrayacente cubierto de esta sección pertenece a la Facies El Abra de la Formación El Abra.

Tramo 1: 19 m de calizas grises, parcialmente cubiertas.

Las calizas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (hasta 3 m). Estas corresponden a textura "wackestone" bioclástica en las que se identifican esencialmente miliólidos, algas, ostrácodos, litoclastos, peloides y fragmentos de bivalvos y equinoideos.

Tramo 2: 5.4 m de alternancia de calizas micríticas grises y calizas laminadas grises.

Las calizas micríticas grises se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso (.5-1 m). Corresponden a textura "wackestone" de miliólidos. Las calizas laminadas grises están dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso (.5-1 m). Estas corresponden a "packstone" bioclástico con miliólidos, peloides, textuláridos, calcisferúlidos, algas dasicladáceas y codiáceas, además de fragmentos de ostreidos.

Tramo 3: 9.8 m de calizas micríticas grises y calizas bioclásticas.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (hasta 3 m). Varían de "grainstone" con ooides de miliólidos, "grapestones", intraclastos y fragmentos de bivalvos y gasterópodos en la base, a "wackestone-packstone" con miliólidos en el techo. Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor mediano a grueso (10-90 cm). Forman "rudstone" de oncoides, "grapestones", bioclastos, miliólidos, textuláridos, intraclastos, peloides, algas dasicladáceas y verde-azules filamentosas, estromatopóridos, fragmentos de bivalvos y laminación paralela.

Tramo 4: 45 m de calizas micríticas grises con intercalaciones ocasionales de calizas bioclásticas y horizontes dolomíticos negros.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor masivo (1 m). Estas corresponden a "wackestone" bioclástico, con abundantes foraminíferos bentónicos, algas verde-azules y valvas de ostrácodos. "Packstone" bioclástico con miliólidos, tapices algales, valvas de ostrácodos, placas y espinas de equinoideos, calcisferúlidos, peloides, algas dasicladáceas, tubos de gusanos tubícolas y gasterópodos. Presentan con frecuencia laminación paralela. Las calizas bioclásticas se disponen en estratos de geometría tabular de 20 a 50 cm de espesor, con bases muy irregulares. Forman "floatstone" de ooides en los que se identifican "grapestone" de ooides, miliólidos, peloides, calcisferúlidos, tubos de gusano, algas dasicladáceas y bivalvos, estos horizontes muestran en ocasiones una fuerte gradación, con los clastos más gruesos hacia la base. Las dolomías se disponen en un único estrato tabular de 50 cm de espesor.

Tramo 5: 12.7 m de alternancia de calizas micríticas grises y dolomías negras.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.5 m). Estas forman "wackestone" de miliólidos. Las dolomías se presentan en estratos tabulares de entre .5-1 m de espesor.

Tramo 6: 106 m de alternancia de calizas micríticas grises y calizas bioclásticas, con intercalaciones ocasionales de dolomías.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (2 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico, con abundantes foraminíferos bentónicos, algas verde-azules y valvas de ostrácodos. Presentan con frecuencia laminación paralela ("bafflestone" bioclástico) con tapices algales, miliólidos, peloides, y algas dasicladáceas. Intercalan ocasionalmente horizontes centimétricos de calizas bioclásticas de textura "floatstone" con miliólidos, textuláridos, pellets, valvas de ostrácodos, espículas de esponjas, algas, corales escleractínidos, abundantes bioclastos de ostreidos, bivalvos y rudistas. Las calizas bioclásticas se disponen en cuerpos tabulares de espesor masivo (entre 1 y 3 m). Son ligeramente estratodecrecientes hacia el techo del tramo. Estas corresponden a "rudstone" de bivalvos, gasterópodos, rudistas y ostreidos en la base, con miliólidos, peloides, algas verde-azules y dasicladáceas, mientras que hacia la mitad y techo forman "floatstone" de bivalvos y rudistas, miliólidos, peloides, calcisferúlidos y algas; en ocasiones se observa laminación paralela. Las dolomías se disponen en dos estratos de geometría tabular de 30-50 cm respectivamente.

Tramo 7: 27 m de calizas micríticas laminadas.

Las calizas micríticas laminadas se disponen en cuerpos tabulares de espesor masivo (hasta 4 m). Estas corresponden a "wackestone" bioclástico con abundantes foraminíferos bentónicos, presentan frecuentemente laminación paralela. Intercalaciones centimétricas de acumulaciones bioclásticas de bivalvos de textura "bafflestone" bioclástico, con laminación algal, miliólidos, peloides, valvas de ostrácodos, fenestras y fragmentos de braquiópodos (Figuras 16 y 17).

Tramo 8: 60 m de calizas micríticas grises con intercalaciones de calizas bioclásticas.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular de 1-3 m de espesor. Forman "wackestone" bioclástico con miliólidos, peloides, algas verde-azules, calcisferúlidos, valvas de ostrácodos y fragmentos de bivalvos, y muy ocasionalmente a "grainstone" bioclástico, con miliólidos, calcisferúlidos, conchas de bivalvo, fragmentos de corales escleractinidos, gasterópodos y rudistas. Las calizas bioclásticas se disponen en cuerpos de geometría tabular de hasta 1 m de espesor. Estas forman "floatstone" bioclástico con miliólidos, calcisferúlidos, algas, valvas de ostrácodos, litoclastos, intraclastos, peloides, fragmentos de bivalvos, espinas de braquiópodo y corales escleractinidos y "rudstone" de rudistas y bivalvos, peloides, miliólidos, calcisferúlidos y valvas de ostrácodos (Figuras 18-21).

Tramo 9: 9 m de alternancia de calizas micríticas y calizas laminadas.

Las calizas micríticas están dispuestas en estratos tabulares de espesor métrico (1 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico con abundantes foraminíferos bentónicos. Las calizas laminadas se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano a grueso (10-90 cm). Forman "mudstone" laminado con intercalación de bandas de micrita con cristales de cuarzo, peloides, conglomerado litoclástico, miliólidos y arena, y ocasionalmente 1 m de calizas bioclásticas dispuestas en estratos tabulares, que corresponden a "floatstone" y "rudstone" de rudistas y bivalvos (Figura 20).

Tramo 10: 4 m de calizas micríticas grises.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor métrico (1 m). Estas corresponden a "wackestone" bioclástico con abundantes foraminíferos bentónicos.

Tramo 11: 34 m de alternancia de calizas micríticas, y calizas bioclásticas.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor métrico (2 m), que corresponden a "wackestone" bioclástico con abundantes miliólidos y algunos gasterópodos y están frecuentemente laminadas, lo que corresponde a "mudstone" bioclástico, con dolomita, miliólidos, fenestras, cristales de cuarzo y pellets. Las calizas bioclásticas se disponen en cuerpos de geometría tabular de hasta 1 m de espesor, forman "floatstone" de rudistas, con miliólidos, calcisferúlidos, textularidos, algas incrustantes, valvas de ostrácodos, tubos de gusanos tubícolas, gasterópodos y fragmentos de bivalvos y rudistas.



Figura 14 - Foto del Tramo 7 del Perfil 3 de calizas micríticas laminadas.



Figura 15 - Foto del Tramo 7 del Perfil 3 de calizas micríticas laminadas.



Figura 16 - Foto del Tramo 8 del Perfil 3 de calizas micríticas grises.



Figura 17 - Foto del Tramo 8 del Perfil 3 de calizas micríticas grises con "grainstone" de ooides.

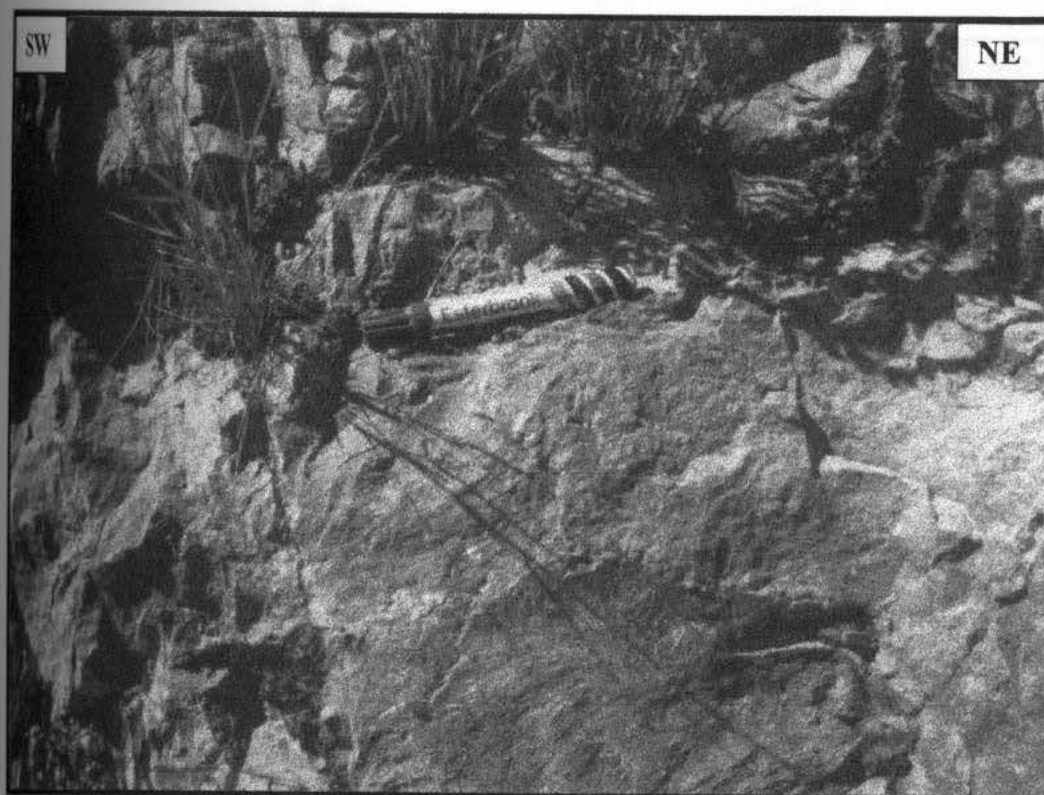


Figura 18 - Foto del Tramo 8 del Perfil 3 de calizas bioclásticas.



Figura 19 - Foto del Tramo 8 del Perfil 3 de "rudstone" de rudistas y bivalvos.



Figura 20 - Foto del Tramo 9 del Perfil 3 de calizas laminadas.

Tramo 12: 7 m de calizas micríticas.

Las calizas micríticas grises en corte fresco, están conformadas en cuerpos tabulares de espesor métrico (1 m), los que corresponden a "wackestone" peloidal, con pseudolaminación* micrítica, pellets, intercalaciones con "packstone" peloidal, valvas de ostrácodos, miliólidos, litoclastos, tapices algales, fenestras y bioclastos fantasma.

Tramo 13: 11.4 m de calizas micríticas laminadas.

Las calizas micríticas laminadas, de color gris en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (hasta 3 m). Estos forman "wackestone" peloidal, con miliólidos, algas, esponjas calcáreas y laminación ocasional intercaladas con "floatstone" de bivalvos.

Tramo 14: 9 m de alternancia de calizas grises y calizas gris-pardo.

* Cierta laminación sólo observable al microscopio.

Las calizas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor decimétrico (hasta 60 cm). Estas corresponden a "mudstone" bioclástico con cierta laminación. Las calizas gris-pardo tienen geometría tabular, son de espesor grueso (hasta 60 cm). Forman "floatstone" de rudistas requiénidos, con miliólidos, peloides, calcisferúlidos, valvas de ostrácodos y bioturbación.

Tramo 15: 25 m de caliza dolomítica.

Las calizas dolomíticas son de color café en corte fresco, están dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (más de 1 m), con laminación paralela ocasional.

Tramo 16: 12 m de tramo cubierto.

Tramo 17: 18.2 m de calizas grises parcialmente cubiertas.

Las calizas gris-verde en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor mediano a grueso (10-90 cm). Estas se forman de "packstone" de miliólidos, con calcisferúlidos, tapices algales, valvas de ostrácodos, peloides, textuláridos y tubos de gusanos tubícolas.

Tramo 18: 17.5 m de alternancia de calizas grises, calizas grises laminadas y calizas dolomíticas, parcialmente cubiertas.

Las calizas gris-verde en muestra en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor masivo (1.5 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico. Las calizas laminadas café-verde oscuro en muestra en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor mediano a grueso (10-90 cm), se presentan como "packstone" de miliólidos, textuláridos, peloides y calcisferúlidos. Las calizas dolomíticas se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano a grueso (10-90 cm).

Tramo 19: 7 m de tramo cubierto.

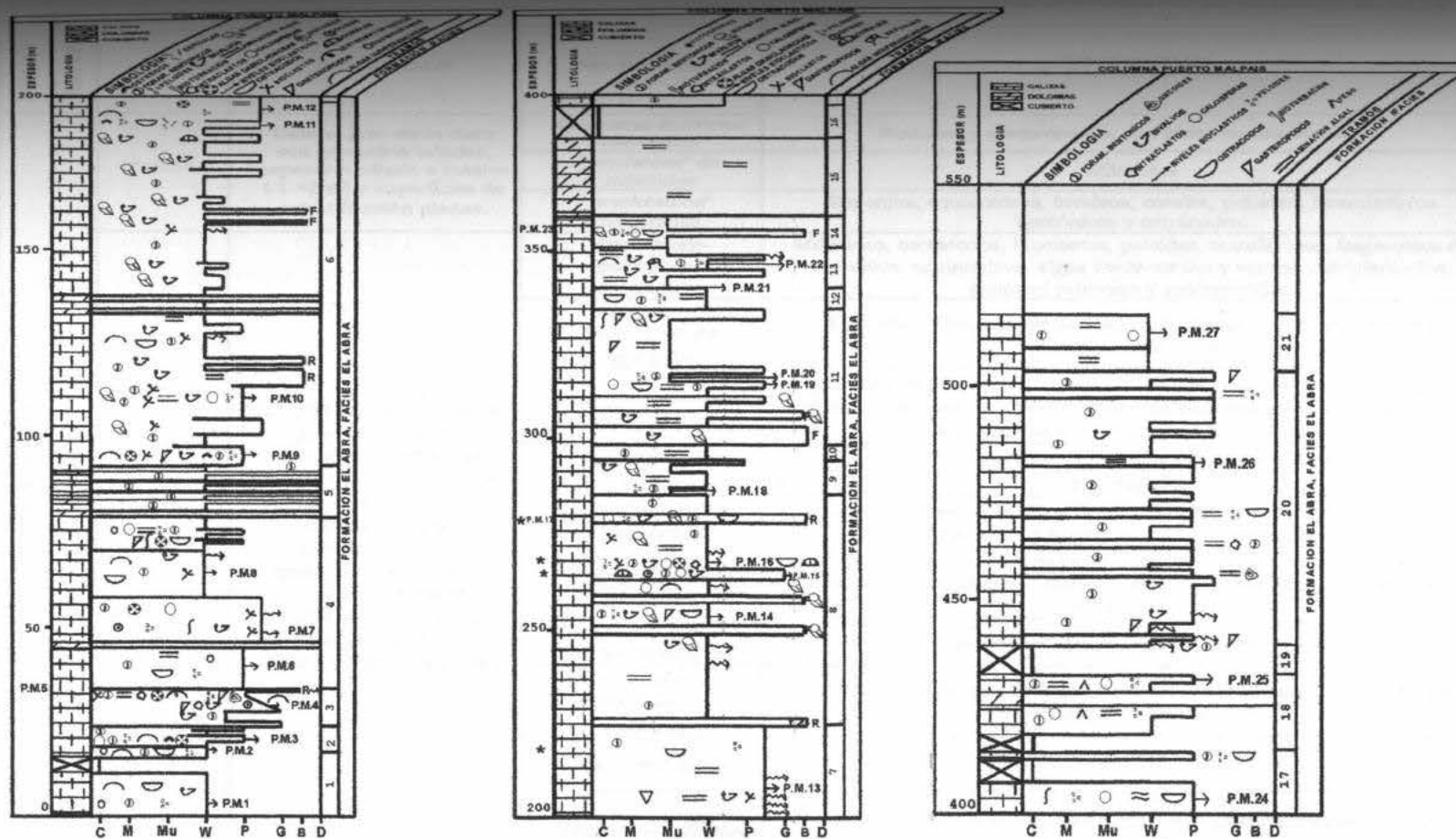
Tramo 20: 64.1 m de alternancia de calizas cafés y calizas grises laminadas.

Las calizas de color café claro en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor masivo (2 m). Varían entre "wackestone" de miliólidos e intraclastos en la base y "wackestone-packstone" bioclástico de color café oscuro, con bioturbación en el techo. Presenta capas ocasionales de gasterópodos u ostreidos a distinto nivel. Las calizas laminadas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor mediano a grueso (10-90 cm). Forman "packstone" de peloides, con "grapestones" de miliólidos, textuláridos, algas verde-azules, intraclastos, valvas de ostrácodos y algunas trazas de bioturbación.

Tramo 21: 14.5 m de calizas grises laminadas.

Las calizas laminadas grises en corte fresco, presentan geometría tabular, espesor mediano a masivo (.1-3 m). Presentan en la base "wackestone" de miliólidos, calcisferúlidos, tapices algales, textuláridos y foraminíferos con envoltura micrítica, y en el techo a "wackestone" bioclástico con superficie ferruginosa.





C:cubierto, M:margas, Mu:mudstone, W:wackestone, P:packstone, G:grainstone, B:boundstone, D:dolomía

Figura 21 - Columna estratigráfica Puerto Malpais, de la localidad de El Madroño.

Tabla 1 - Resumen de las principales características de las facies de la Fm. El Abra en la zona de El Madroño (de acuerdo a los datos obtenidos en los perfiles 2 y 3).

LITOLOGIA	FORMACIÓN	FACIES	DESCRIPCIÓN	MICROFACIES	COMPONENTES/ CARACTERÍSTICAS
CARBONATOS	EL ABRA	TANINUL	Calizas gris-verde claro con geometría tabular, espesor mediano a masivo (.1->1 m) y superficies de estratificación planas.	"floatstone-rudstone" bioclástico	Rudistas y gasterópodos, con bioturbación ocasional.
				"mudstone" de miliólidos	Miliólidos
				"wackestone" bioclástico	Esponjas, equinoideos, bivalvos, corales, peloides, foraminíferos bentónicos y ostrácodos.
		EL ABRA	Calizas grises, gris-verde, gris-pardo y cafés, micríticas, bioclásticas y laminadas con horizontes ocasionales dolomíticos y dolomías negras. Geometría tabular con espesor mediano a masivo (.1->1 m). Superficie de estratificación plana, ocasionalmente con superficie ferruginosa en el techo.	"wackestone-packstone" bioclástico	Miliólidos, ostrácodos, litoclastos, peloides, textuláridos, fragmentos de ostreidos, equinoideos, algas verde-azules y verdes, calcisferúlidos, gusanos tubícolas y gasterópodos.
				"wackestone-packstone" de miliólidos	Calcisferúlidos, tapices algales, textuláridos y foraminíferos con envoltura micrítica.
				"rudstone/floatstone" de oncooides/ooides	"grapestones", oncooides, ooides, miliólidos, textuláridos, intraclastos, peloides, algas verdes y verde-azules, calcisferúlidos, gusanos tubícolas, estromatopóridos y fragmentos de bivalvos.
				"grainstone" con ooides	Miliólidos, "grapestones", intraclastos, fragmentos de bivalvos y gasterópodos.
				"bafflestone" bioclástico	Tapices algales, miliólidos, peloides, y algas verdes, ostrácodos, fenestras y fragmentos de braquiópodos.
				"floatstone/rudstone" bioclástico	Miliólidos, textuláridos, pellets, ostrácodos, esponjas, algas, corales, bioclastos de bivalvos, gasterópodos, calcisferúlidos, litoclastos e intraclastos.
				"grainstone" bioclástico	Miliólidos, calcisferúlidos, bivalvos, corales y gasterópodos.
				"mudstone" bioclástico y laminado	Peloides, conglomerado litoclástico, miliólidos, dolomita, fenestras y cristales de cuarzo.
				"wackestone" peloidal	Pelleta
				"packstone" peloidal	Ostrácodos, miliólidos, litoclastos, tapices algales, fenestras y bioclastos fantasma.

11.3. - DESARROLLO FACIAL

11.3.1. - DESCRIPCIÓN

Se analizaron 71 puntos de muestreo de campo, tomando el primer punto en la Formación Tamabra (zona de transición talud-margen de plataforma), se cubrió totalmente la Facies Taninul y una parte de la Facies El Abra, ambas de la Formación El Abra (Figuras 25, 26, 27a y 27b)). Esta información se complementó con la información del análisis de las láminas delgadas correspondientes a cada punto. Además, se les asignó una microfacies standard (MFS) y un número de cinturón de facies de Wilson (CFW) (1975).

11.3.2. - PUNTOS DE MUESTREO EL MADROÑO

En lo subsecuente la información del primer párrafo corresponde a la descripción de campo y el segundo a la descripción microscópica.

Punto MADP1: 1,490 msnm. Calizas dolomíticas gris claro en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso (1.3 m), con superficie de estratificación difusa y plana, textura micrítica, fractura irregular, con grandes inclusiones de calcita, colores de intemperismo café y negro, zona medianamente kárstica.

Esta muestra no fue posible describirla texturalmente de acuerdo a Dunham (1962) y Folk (1959, 1962), debido al grado de dolomitización que presenta. No se observan microfósiles, ni estructuras sedimentarias; con cavidades porosas y algunos cristales de cuarzo. Debido a lo antes citado no fue posible asignar una microfacies standard ni cinturón de facies de Wilson (1975).

Punto MADP1': 1,520 msnm. Calizas dolomíticas gris-café oscuro en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor grueso (1.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura irregular, con inclusiones grandes de calcita, muy fracturada e intemperizada, con colores café claro y negro, zona muy kárstica.

Esta muestra no fue posible describirla texturalmente de acuerdo a Dunham (1962) y Folk (1959, 1962), debido al grado de dolomitización que presenta. No se observan microfósiles ni estructuras sedimentarias, presenta cristales de dolomita con zonación, cristales de cuarzo y cavidades porosas. Debido a lo antes citado, no fue posible asignar microfacies standard ni cinturón de facies de Wilson (1975).

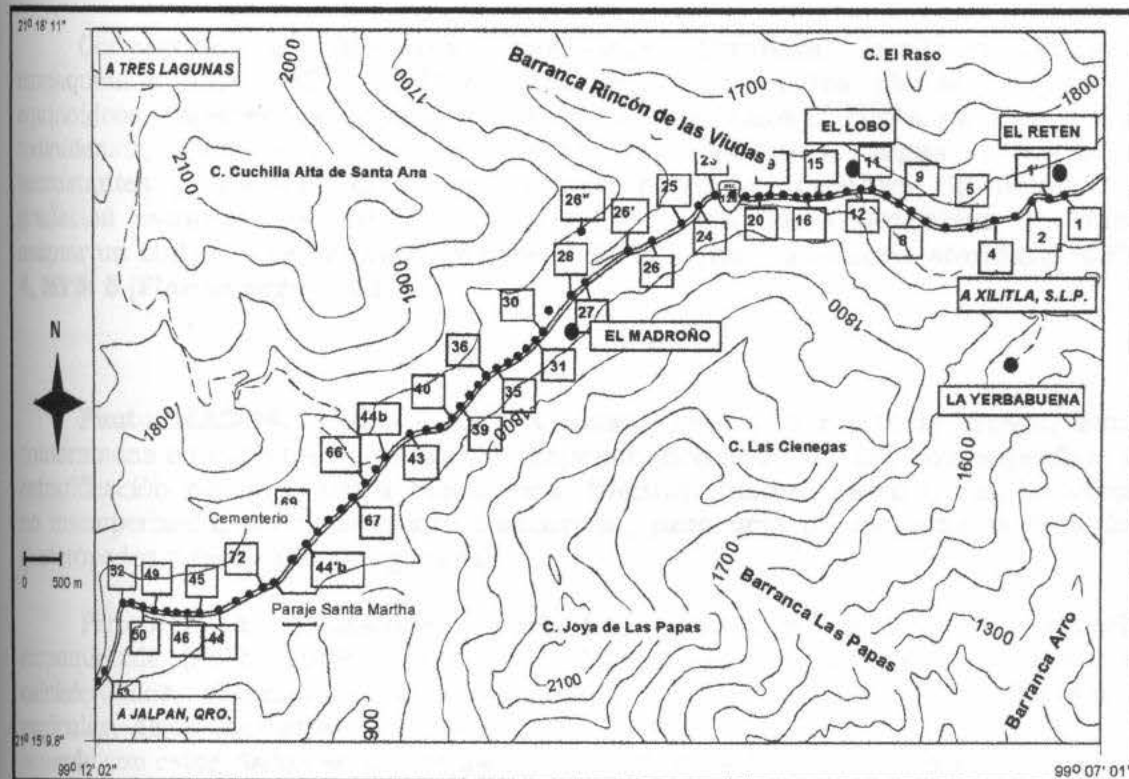


Figura 22 - Mapa de Ubicación de puntos de muestreo en la localidad de El Madroño. Topografía según I.N.E.G.I., 1981.

Punto MADP2: 1,480 msnm. Calizas dolomíticas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor grueso (1.6 m), con superficie de estratificación difusa, textura micrítica, fractura irregular, con inclusiones grandes de calcita, muy intemperizada, con colores café claro y negro, con fracturas rellenas de calcita, zona muy kárstica.

Esta muestra al igual que las dos anteriores, no fue posible describirla texturalmente, debido al grado de dolomitización que presenta, no se observan fósiles. Al igual que en las anteriores no fue posible asignar microfacies standard ni cinturón de facies de Wilson (1975).

Punto MADP3: 1,575 msnm. Calizas gris claro en corte fresco, están conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.25 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, muy intemperizada con color negro, roca medianamente fracturada, presencia de karst.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con ooides, placas y espinas de equinoideos, fragmentos subangulosos de braquiópodos y rudistas, *Dictyoconus walnutensis*, presencia de microfósiles recristalizados, algas verde-azules incrustantes y filamentosas, espículas de esponjas, cristales de dolomita y gradación estratodecreciente. De acuerdo con los datos obtenidos se puede asignar un cinturón de facies de Wilson (1975) y una microfacies standard: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP4: 1,520 msnm. Calizas gris claro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor mediano (.45 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, estructuras kársticas, no intemperizada, medianamente fracturada, presencia de rudistas radiolíticos, gasterópodos y bioclastos en general.

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, calcisferúlidos, fragmentos subangulosos de ostreidos, esponjas calcáreas y espículas, algas incrustantes, placas de equinoideos, briozoarios, y corales. De acuerdo con estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP5: 1,550 msnm. Calizas gris-café claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.35 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, estructuras kársticas, color de intemperismo gris oscuro. Se observan abundantes fósiles.

Se encuentra formando un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con calcisferúlidos, valvas de ostrácodos, foraminíferos bentónicos triseriales (textuláridos), *Spirillina* sp., algas verde-azules incrustantes, espículas de esponjas, esponjas globulares, esponjas calcáreas, fragmentos de briozoarios, gasterópodos y bivalvos subredondeados, corales escleractinidos, placas y espinas de equinoideos. Mediante los datos aquí citados se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP6: 1,550 msnm. Calizas gris-café claro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares, de espesor grueso (.6 m) y superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo café y negro, estructuras de karst, no se observan fósiles a la vista.

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, con calcisferúlidos, fragmentos subangulosos de pectínidos, ostreidos, braquiópodos, briozoarios y equinoideos, esponjas globular, esponjas calcáreas y espículas monoaxonas, corales escleractínidos. Para los datos obtenidos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP7: 1,560 msnm. Calizas color gris claro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos de geometría tabular de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, tipo de fractura planar, color de intemperismo gris oscuro, con abundantes fracturas, zona muy kárstica, presencia de estilolitos sedimentarios y algunos rudistas caprinidos.

Corresponde a un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, valvas de ostrácodos, foraminíferos textuláridos (*Textularia sp.*), fragmentos subredondeados de briozoarios, pelecípodos, braquiópodos, espículas de esponjas, espinas de braquiópodo, corales escleractínidos, estromatopóridos, esponjas calcáreas, espinas de equinoideos, algas esqueléticas (rodofitas). Por medio de los datos citados se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP8: 1,600 msnm. Calizas gris-café claro en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.5 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo gris oscuro, zona muy kárstica, con fósiles de rudistas caprinidos.

Pertenece a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, algas verde-azules incrustantes, placas de equinoideos, briozoarios con relleno geopetal, corales escleractínidos, estromatopóridos, fragmentos subredondeados de bivalvos con envoltura micrítica, equinoideos y ostreidos. Para este estudio se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP9: 1,625 msnm. Calizas gris-verde claro en corte fresco, que están dispuestas en estratos tabulares de espesor grueso (.9 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, con fracturas rellenas de calcita, zona muy fracturada y kárstica, colores de intemperismo gris oscuro y negro, no se observan macrofósiles.

Forma un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o intraesparita escasamente lavada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con intraclastos redondeados, litoclastos, algas verde-azules incrustantes, calcisferúlidos, esponjas calcáreas, corales escleractínidos, espinas y placas de equinoideos, fragmentos subredondeados de bivalvos con envoltura micrítica (Figura 26). Con este estudio se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 4 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP10: 1,550 msnm. Calizas laminadas gris-café claro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (1.3 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, roca muy kárstica, con colores de intemperismo gris oscuro y café, medianamente fracturada. Se observan fósiles de rudistas caprinidos y radiolíticos.

Pertenece a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita escasamente lavada (Folk, 1959; 1962), con algas verde-azules incrustantes, foraminíferos textuláridos, calcisferúlidos, fragmentos subangulosos de briozoarios, equinoideos y ostreidos. De acuerdo con los datos obtenidos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP11: 1,530 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, zona muy kárstica, colores de intemperismo gris oscuro y negro. Se observan fósiles de rudistas caprinidos y radiolíticos (*Radiolites abraensis*).

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos bentónicos, calcisferúlidos con envoltura micrítica, pellets, espículas de esponjas, fragmentos, espinas y placas de equinoideos, estromatopóridos, algas verde-azules filamentosas y rojas, fragmentos grandes y alargados de intraclastos, fragmentos angulosos a subredondeados de conchas de bivalvos y briozoarios, esponjas calcáreas. Con los datos antes citados se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP12: 1,550 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor mediano (.15 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, roca muy kárstica, color de intemperismo gris más oscuro. Afloramiento muy escaso en el que no se observan fósiles.

Se encuentra formando un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita bien sorteada, (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes y codiáceas, intraclastos, foraminíferos peneróplidos y textuláridos (*Textularia sp.*), estromatopóridos, *Dictyoconus walnutensis*, espinas de braquiópodo, fragmentos subredondeados y redondeados de bivalvos pectínidos y briozoarios, espinas de braquiópodo, corales escleractínidos, y esclerospongeas (Tabla pág. 73). Para estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP13: 1,550 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor mediano (.3 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, roca muy kárstica, con colores de intemperismo gris oscuro y café. Se observan fósiles de gasterópodos, rudistas radiolíticos (*Radiolites abraensis*) y caprinidos.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes y codiáceas, foraminíferos amodiscáceos, miliólidos (*Quinqueloculina* sp., *Triloculina* sp.), espirilináceos (*Spirillina* sp.), fragmentos subredondeados de briozoarios, braquiópodos, ostreidos con envoltura micrítica, gasterópodos y rudistas caprinidos, tubos de gusanos tubícolas, presencia de bioturbación. Con los datos obtenidos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP14: 1,570 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, roca muy kárstica y fracturada, color de intemperismo gris oscuro. Afloramiento muy escaso en el que no se observan fósiles.

Pertenece a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas desarticuladas de ostrácodos, algas verde-azules filamentosas, foraminíferos bentónicos, esponjas calcáreas, espinas de equinoideos, espículas de esponjas (triaxonas hexactinidas y tetraxonas), fragmentos subangulosos a subredondeados de rudistas caprinidos. De acuerdo con esta información se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP15: 1,580 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (1.3 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, rocas muy fracturadas, colores de intemperismo pardo y gris oscuro. Se observan rudistas caprinidos y radiolíticos.

Forma un "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes, fragmentos subredondeados a subangulosos de briozoarios, ostreidos con envoltura micrítica, gasterópodos (turritelas), corales escleractinidos, esponjas calcáreas y espinas de braquiópodo. Con la información aquí obtenida se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP16: 1,600 msnm. Las calizas color gris claro en corte fresco, están conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.35 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo negro, roca ligeramente fracturada. Debido a que es un afloramiento muy escaso, no se observa ningún fósil.

Pertenece a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con placas de equinoideos, rastros de bioturbación, fragmentos redondeados de bivalvos con envoltura micrítica y corales escleractínidos (Figura 28). Mediante esta información, se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP17: 1, 560 msnm. Las calizas color gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano (.15 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo negro, roca muy kárstica. Se observan fósiles caprinidos.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, miliólidos (*Triloculina sp.*, *Pyrgo sp.*), algas verde-azules incrustantes, briozoarios, fragmentos redondeados con envoltura micrítica de ostreidos y rastros de bioturbación. Por medio de estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP18: 1,570 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo pardo y negro, roca muy kárstica. No se observan fósiles.

Se encuentra formando un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas desarticuladas de ostrácodos, foraminíferos bentónicos, intraclastos, rudistas caprinidos, espículas de esponjas, espinas y placas de equinoideos, conchas perforadas de braquiópodo, fragmentos subredondeados a subangulosos de briozoarios y ostreidos. Para los datos aquí obtenidos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP19: 1,580 msnm. Las calizas color gris-café claro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos de forma tabular de espesor mediano (.35 m), con superficie de estratificación plana neta, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y pardo, roca muy kárstica, poco fracturada. Con fósiles de rudistas radiolítidos y caprinidos.

Corresponde a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con miliólidos, algas dasicladáceas, solenoporáceas y cianofitas, peloides, foraminíferos valvulinidos, ostrácodos, intraclastos, espinas y placas de equinoideos, briozoarios, rudistas radiolítidos (*Radiolites abraensis*), fragmentos redondeados con envoltura micrítica de braquiópodos y bivalvos. Tomando en consideración la información citada se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP20: 1,580 msnm. Las calizas color gris-café claro en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (1.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, color de intemperismo café oscuro, roca muy fracturada. No se observan fósiles.

Pertenece a "packstone" peloidal (Dunham, 1962) o biopelmicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con gran abundancia de peloides, valvas desarticuladas de ostrácodos, foraminíferos spirilínáceos, textuláridos, filamentos de algas verdes, algas dasicladáceas y verde-azules, espinas de equinoideos, espículas de esponjas, esponjas globulares, gasterópodos, valvas de braquiópodo y rastros de bioturbación. Mediante esta información se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP21: 1,590 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor masivo (1.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo pardo y gris claro, rocas muy fracturadas. Se observan fósiles de rudistas caprinidos.

Forma un "packstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biopelmicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con peloides, espículas de esponjas, algas verde-azules y dasicladáceas, foraminíferos heterohelícidos y spirilínáceos, esponjas silíceas, espinas y placas de equinoideos, valvas de pelecípodos, briozoarios, fragmentos subredondeados de rudistas requiénidos. Con estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP22: 1,590 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se conforman en cuerpos tabulares de espesor masivo (1 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo negro, café claro y gris oscuro, rocas muy kársticas. Se observan fósiles de gasterópodos (nerineidos y turritelas) y rudistas caprinidos.

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules y solenoporáceas, peloides, foraminíferos textuláridos, *Dictyoconus walnutensis*, espinas y placas de equinoideos, briozoarios, estromatopóridos, esponjas globulares, bioturbación, corales, fragmentos redondeados a subredondeados de ostreidos. Para estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP23: 1,620 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, están conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.7 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo pardo y rojizo (por el suelo), roca muy kárstica y fracturada. Se observan fósiles de rudistas caprinidos y radiolítidos (*Radiolites abraensis*).

Corresponde a framestone de rudistas (Dunham, 1962) o biolitita (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con espículas de esponjas, foraminíferos ataxofrágmidos (*Tritaxia* sp.), algas verde-azules incrustantes, espinas de equinoideos y fragmentos angulosos de rudistas caprinidos. Con esta información se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 7 (Bioconstrucciones)**

Punto MADP24: 1,620 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.8 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo amarillento-pardo, roca muy kárstica, con diaclasas. Se observan fósiles de rudistas caprinidos y radiolíticos (*Eoradiolites davidsoni*).

Esta muestra pertenece a un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules y codiáceas, *Tritaxia* sp., tubos de gusanos tubícolas incrustados en conchas de ostreidos, fragmentos de ostreidos, briozoarios, rudistas requiñidos y placas de equinoideos (Tabla pág. 73). Mediante estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP25: 1,620 msnm. Las lutitas calcáreas gris oscuro y lutitas café oscuro en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular de espesor delgado (.02-.1 m), con superficie de estratificación plana, textura micritica, fractura planar, colores de intemperismo gris y café. No se observan fósiles.

Corresponde a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), con laminación y calcisferúlidos. Por medio de los datos obtenidos se puede asignar: **CFW: 2, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP25': 1,1,625 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo blanco y negro, roca muy kárstica. Se observan cortes transversales de fósiles de rudistas *Radiolites abraensis* y *Mexicaprina quadrata*.

Pertenece a "floatstone" de rudistas (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes, rastros de bioturbación, espículas de esponjas, fósiles micritizados, fragmentos redondeados de bivalvos y rudistas caprinidos. Tomando en consideración estos datos, pertenece a: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP26: 1,625 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y blanco, zona muy kárstica. Se observan fósiles de rudistas caprinidos (*Mexicaprina quadrata*).

Forma un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con espículas de esponjas, calcisferúlidos, placas de equinoideos, valvas de ostrácodos, esponjas, rudistas caprinidos, fragmentos subangulosos a subredondeados de bivalvos y gasterópodos. De acuerdo con la información mencionada se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP26': 1,660 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, se conforman en estratos tabulares de espesor grueso (.9 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y negro, zona muy kárstica. No se observan fósiles.

Pertenece a "grainstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes, fragmentos redondeados a subredondeados de rudistas, briozoarios y ostreidos. Para los datos citados se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP26'': 1,690 msnm. Las calizas gris-café oscuro en corte fresco, están conformadas por cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (1.3 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, presencia de estilolitos sedimentarios, zona muy kárstica y fracturada. No se observan fósiles.

Corresponde a "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, foraminíferos miliólidos (*Triloculina sp.*), spirilináceos (*Spirillina sp.*). Con los datos mencionados se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP27: 1,660 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo pardo amarillento. Se observan fósiles de rudistas radiolítidos y caprinidos.

Esta muestra forma un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, gradación estratocreciente, con calcisferúlidos, estromatopóridos, espículas de esponjas, espinas de equinoideos, rastros de bioturbación, esponjas calcáreas y silíceas, algas verde-azules, fragmentos subredondeados a redondeados de ostreidos. Por medio de la información citada se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP28: 1,625 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor masivo (2.4 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo negro y naranja. No se observan fósiles.

Corresponde a "wackestone" de miliólidos (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, espículas de esponjas, miliólidos (*Pyrgo sp.*, *Quinqueloculina sp.*) y espinas de equinoideos (Figura 30). Mediante estos datos se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP29: 1,600 msnm. Las calizas café verdoso en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor masivo (2.8 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, roca muy kárstica. No se observan fósiles.

Pertenece a "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos miliólidos (*Triloculina sp.*), textuláridos, nubeculáridos y *Dictyoconus walnutensis*. Con esta información se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP30: 1,615 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.8 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo blanco y pardo amarillento, roca muy kárstica. No se observan fósiles.

Forma un "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, miliólidos (*Triloculina sp.*, *Quinqueloculina sp.*) y spirilínáceos (*Spirillina sp.*). Tomando en consideración los datos obtenidos se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP31: 1,625 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se presentan en estratos tabulares de espesor masivo (2 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris y pardo claro. Se observan fósiles de rudistas caprinidos, radiolítidos y gasterópodos.

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con placas de equinoideos, algas rojas, verde-azules incrustantes, esponjas calcáreas, fragmentos redondeados y subredondeados de briozoarios, bivalvos y rudistas con envoltura micrítica. Por medio de los datos mencionados se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP32: 1,630 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, están presentes en forma de cuerpos tabulares de espesor masivo (1.8 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo pardo y blanco, roca muy kárstica. Se observan fósiles de valvas de rudistas requiñenidos y gasterópodos.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, algas verde-azules, rojas (solenoporáceas) y dasicladáceas, foraminífero *Dictyoconus walnutensis*, nubeculáridos (*Spiroloculina sp.*), placas y espinas de equinoideos, espículas de esponjas, fragmentos redondeados a subredondeados de ostreidos, braquiópodos y rudistas requiñenidos. Para los datos antes citados se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP33: 1,650 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro, blanco y negro, zona muy kárstica. Se observan fósiles de gasterópodos, espinas de equinoideos y rudista radiolítico *Radiolites abraensis*.

Pertenece a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita redondeada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con placas de equinoideos, algas rodofitas (solenoporáceas y coralinas) y verde-azules, intraclastos, valvas de ostrácodos, esponjas silíceas, rastros de bioturbación, fragmentos redondeados de pectínidos, briozoarios, ostreidos, esponjas calcáreas y corales escleractínidos. Con la información citada se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 12 (Plataforma en agua agitada)**

Punto MADP34: 1,670 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor mediano (.45 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y pardo, zona muy kárstica. Se observan fósiles de rudistas caprinidos, requiénidos y gasterópodos.

Esta muestra forma un "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con espículas de esponjas, peloides, foraminíferos miliólidos, textuláridos, placas de equinoideos, valvas de ostrácodos, corales escleractínidos, esponjas calcáreas, rastros de bioturbación, fragmentos redondeados a subredondeados de ostreidos (Figura 27). Para la información dada se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto MADP35: 1,700 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor grueso (1 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo negro y naranja, zona muy kárstica e intemperizada. Se observan los fósiles sobreexpuestos de gasterópodos (turritelas y nerineidos), rudistas radiolítidos (*Radiolites abraensis*, *Eoradiolites davidsoni*) y caprinidos (*Guzzyella* sp., *Kimbleia albrittoni*, *Caprinuloidea perfecta* y *Mexicaprina quadrata*).

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verdes (dasicladáceas), verde-azules, y rodofitas (solenoporáceas), placas y espinas de equinoideos, foraminíferos textuláridos, peloides, esponjas calcáreas, gasterópodos, corales escleractínidos y globosos, fragmentos subredondeados de ostreidos, briozoarios y rudistas radiolítidos. Por medio de estos datos se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 12 (Plataforma en agua agitada)**

Punto MADP36: 1,680 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.7 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y pardo, roca muy kárstica e intemperizada. Fósiles sobreexpuestos de rudistas caprinidos (*Caprinuloidea perfecta* y *Mexicaprina quadrata*), requiénidos (*Toucasia texana*), radiolítidos y monopléuridos, gasterópodos (nerineidos y turritelas).

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con peloides, foraminíferos textuláridos y miliólidos, algas verdes (dasicladáceas) y rojas (solenoporáceas), placas y espinas de equinoideos, valvas de ostrácodos, gasterópodos, fragmentos de rudistas requiénidos y briozoarios (Tabla pág. 73). Con esta información se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 12 (Plataforma en agua agitada)**

Punto MADP37: 1,720 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (1.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo verde y naranja, roca muy kárstica. Se observan fósiles sobreexpuestos de rudistas requiénidos, radiolítidos (*Radiolites abraensis* y *Eoradiolites davidsoni*) y caprinidos (*Guzzyella* sp., *Texicaprina kugleri* y *Jalpania queretana*), gasterópodos (turritelas y nerineidos), corales y amonitas.

Forma un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas rodofitas, verdes (dasicladáceas) y verde-azules, foraminíferos textuláridos y miliólidos, peloides, valvas de ostrácodos, corales escleractinidos, espinas y placas de equinoideos, rastros de bioturbación, espículas de esponjas, fragmentos subangulares a subredondeados de rudistas, ostreidos y pectinidos. Para la información citada se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 12 (Plataforma en agua agitada)**

Punto MADP38: 1,715 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se presentan en estratos tabulares de espesor mediano (.3 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo café oscuro y naranja, roca muy kárstica. Se observan fósiles de rudistas radiolítidos (*Radiolites abraensis*), caprinidos (*Mexicaprina quadrata*) y fragmentos varios.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con calcisferúlidos, espinas y placas de equinoideos, valvas de ostrácodos, peloides, algas verdes (dasicladáceas), miliólidos, gasterópodos y fragmentos subangulosos de bivalvos lamelibranchiados (Figura 32). Mediante la información mencionada se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 12 (Plataforma en agua agitada)**

Punto MADP39: 1,650 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.8 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y naranja, zona muy kárstica. Con gran cantidad de fósiles recristalizados, rudistas caprinidos (*Caprinuloidea perfecta*, *Mexicaprina quadrata*, *Guzzyella* sp.) y radiolítidos (*Radiolites abraensis*).

Pertenece a framestone de briozoarios y algas (Dunham, 1962) o biolitita arrecifal (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes y rojas (solenoporáceas), placas de equinoideos, valvas de ostrácodos, briozoarios y fragmentos subangulosos a subredondeados de bivalvos (Figura 29). De acuerdo con los datos se puede asignar: **CFW: 5, MFS: 7 (Bioconstrucciones)**

Punto MAD40: 1,615 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor masivo (3 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo gris oscuro, zona muy kárstica y fracturada, con abundantes micro y macrofósiles, algunos recristalizados. Se observan rudistas caprinidos (*Caprinuloidea perfecta*), y monopléuridos.

Este análisis corresponde a un "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con placas de equinoideos, esponjas calcáreas, algas rodofitas o rojas, corales escleractínidos con cemento isopaco, fragmentos redondeados a subredondeados de ostreidos, briozoarios y gasterópodos. Con la información dada se puede asignar: **CFW: 6, MFS: 12 (Plataforma en agua agitada)**

Punto MADP41: 1,615 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor grueso (.9 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo pardo claro y gris oscuro, zona muy kárstica. No se observan fósiles.

Pertenece a "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos. Con los datos dados se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP42: 1,630 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris y naranja, roca muy kárstica. Se observan fósiles de rudistas caprinidos (*Mexicaprina quadrata* y *Kimbleia albrittoni*).

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con placas de equinoideos, algas rodofitas, gasterópodos, fragmentos subangulosos a subredondeados de briozoarios y rudistas caprinidos. Con la información obtenida se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP43: 1,630 msnm. Las calizas dolomíticas gris-café oscuro en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (2.1 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo naranja y gris claro, roca muy kárstica. Se observan conchas de rudistas no muy claras por el karst.

Forma un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, placas de equinoideos, gran cantidad de cristales de dolomita, foraminíferos miliólidos y textuláridos, corales escleractínidos, algas verdes (dasicladáceas) y verde-azules incrustantes, valvas de ostrácodos y fragmentos de ostreidos. Con la información mencionada se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP44B: 1,625 msnm. Las calizas dolomíticas gris-café claro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor masivo (1.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo café claro y negro, roca muy kárstica. Se observan fósiles de rudistas requiénidos.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas rodofitas, espículas de esponjas, miliólidos, placas de equinoideos, calcisferúlidos, espinas de braquiópodo, valvas de ostrácodos, cristales de cuarzo y dolomita, fragmentos redondeados a subredondeados de ostreidos y briozoarios. Con la información obtenida se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP66: 1,670 msnm. Las calizas café-verde oscuro en corte fresco, se presentan en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.1 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo negro y pardo claro, zona muy kárstica. Los fósiles no se observan bien por el karst.

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita bien sorteada (Folk, 1959; 1962), con laminación, gran variedad de algas (rodofitas, dasicladáceas y verde-azules), gasterópodos, fragmentos redondeados a subredondeados de rudistas caprinidos y briozoarios. De acuerdo con estos datos se ha asignado: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MAD66': 1,660 msnm. Las calizas café-verde oscuro en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor masivo (1.5 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo pardo, gris claro y negro, zona muy kárstica, intemperizada y fracturada.

Esta muestra forma un "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), con laminación, valvas de ostrácodos, foraminíferos textuláridos y miliólidos. Con esta información se ha asignado: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP67: 1,660 msnm. Las calizas café-verde claro en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y pardo, roca muy kárstica.

Pertenece a "packstone" peloidal (Dunham, 1962) o pelmicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con peloides, foraminíferos textuláridos, miliólidos, y spirilináceos (Figura 31). Para los datos obtenidos se asigna: **CFW: 7, MFS: 10 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP67': 1,635 msnm. Las calizas café-verde oscuro en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor masivo (1.7 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo pardo y negro, zona muy kárstica e intemperizada. No se observan fósiles.

Corresponde a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biopelmicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con peloides, placas y espinas de equinoideos, foraminíferos textuláridos y algas dasicladáceas (Tabla pág. 73). Por medio de la información obtenida se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP68: 1,720 msnm. Las calizas dolomíticas café-verde claro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (1.2 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y negro, roca muy kárstica e intemperizada. No se observan fósiles.

Esta muestra pertenece a un "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos textuláridos, placas y espinas de equinoideos y cristales de dolomita. Para los datos citados se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP69: 1,725 msnm. Las calizas dolomíticas gris claro en corte fresco, se conforman en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, con colores de intemperismo gris oscuro y negro, zona muy kárstica e intemperizada. No se observan fósiles.

Corresponde a "mudstone" dolomítico (Dunham, 1962) o dismicrita (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con abundantes cristales de dolomita con zonación. No se observan fósiles. Con la información obtenida se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP44'B: 1,725 msnm. Las calizas gris verdoso en corte fresco, están conformadas en cuerpos tabulares de espesor grueso (.9 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, con colores de intemperismo negro y amarillo, roca muy kárstica e intemperizada. No se observan fósiles.

Pertenece a "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, foraminíferos miliólidos, peloides y algunos cristales de dolomita. Con los datos mencionados se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP70: 1,725 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se presentan en estratos tabulares de espesor masivo (1.3 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro, negro y naranja, zona muy intemperizada y kárstica. Se observan fósiles de rudistas caprínidos (*Texicaprina kugleri*, *Guzzzyella sp.*), radiolítidos y gasterópodos.

Forma un "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules y verdes (dasicladáceas), placas de equinoideos, corales escleractínidos, valvas de ostrácodos, briozoario y fragmentos redondeados de ostreidos (Figura 35). De acuerdo con la información mencionada se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP71: 1,710 msnm. Las calizas dolomíticas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (1.1 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo naranja, gris oscuro y negro. Se observan abundantes fósiles de rudistas caprínidos y fragmentos en general.

Pertenece a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas rojas (coralinas) y verde-azules, placas de equinoideos, cristales de dolomita y fragmentos subredondeados de ostreidos. Para estos datos se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP72: 1,690 msnm. Las calizas café-verde oscuro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor grueso (.9 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro, negro y pardo. Se observan pequeños fósiles recristalizados.

Corresponde a "mudstone" bioclástico, (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con calcisferúlidos, valvas de ostrácodos, espinas de equinoideos, cristales de cuarzo y fragmentos subredondeados de ostreidos (Figura 34). Mediante esta información se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP73: 1,615 msnm. Las calizas café verdoso en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.7 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris oscuro y pardo, roca muy intemperizada y kárstica. No se observan fósiles.

Esta muestra forma un "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biopelmicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con peloides, foraminíferos miliólidos, espirilináceos y textuláridos, algas verde-azules y verdes (dasycladáceas), valvas de ostrácodos, intraclastos y gasterópodos. Con estos datos se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP74: 1,675 msnm. Las calizas café verdoso en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor masivo (1.1 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro, blanco y negro, con presencia de karren, zona muy intemperizada y kárstica. No se observan fósiles.

Corresponde a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos miliólidos y textuláridos, valvas de ostrácodos, peloides, placas y espinas de equinoideos, algas verdes (dasycladáceas) y fragmentos de ostreidos. Con esta información se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP44: 1,630 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.35 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, color de intemperismo gris oscuro, presencia de karren y karst. Se observan fósiles de rudistas caprinidos (*Mexicaprina quadrata* y *Caprinuloidea perfecta*).

Pertenece a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), con algas verdes (dasycladáceas) y verde-azules incrustantes, espinas y placas de equinoideos, peloides, foraminíferos miliólidos y textuláridos, cristales de cuarzo, rastros de bioturbación. Con los datos mencionados se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP45: 1,615 msnm. Las calizas gris-verde oscuro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo negro y amarillo, roca muy kárstica. Se observan fósiles de gasterópodos y ostreidos en varios horizontes y rastros de bioturbación.

Forma un "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algunos cristales de dolomita, foraminíferos miliólidos y textuláridos, valvas de ostrácodos, peloides, espículas de esponjas, fragmentos subangulosos a subredondeados de ostreidos. Con la información mencionada se puede asignar: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP46: 1,615 msnm. Las calizas dolomíticas gris-verde oscuro en corte fresco, se presentan en cuerpos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro y blanco, presencia de karren, zona muy kárstica e intemperizada. No se observan fósiles.

Pertenece a "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, con foraminíferos miliólidos y espirilínáceos, espinas de equinoideos, esponjas calcáreas, algas verde-azules incrustantes, rastros de bioturbación y cristales de dolomita (Tabla pág. 73). De acuerdo con los datos obtenidos se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP47: 1,610 msnm. Las calizas gris-café oscuro en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (1 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro y blanco, roca muy kárstica e intemperizada, presencia de karren. No se observan fósiles.

Corresponde a "grainstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita bien sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con intraclastos, algas rodofitas, verdes (dasicladáceas) y verde-azules incrustantes, espinas y placas de equinoideos, foraminíferos miliólidos, peloides, corales escleractínidos, estromatopóridos, fragmentos redondeados de bivalvos con envoltura micrítica (Figura 33). Por medio de los datos mencionados se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 17 (Plataforma marina restringida)**

Punto MADP48: 1,620 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor mediano (.5 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, con fractura planar, colores de intemperismo negro y gris más oscuro, roca muy kárstica e intemperizada.

Esta muestra forma un "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita redondeada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas rodofitas, placas de equinoideos, corales escleractínidos, gasterópodos, fragmentos redondeados de ostreidos y briozoarios con envoltura micrítica y una capa de cemento de agujas de aragonita. Con los datos obtenidos se ha asignado: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MAD49: 1,630 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor mediano (.2 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro con blanco, presencia de karren, zona muy kárstica e intemperizada. No se observan fósiles.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con gradación estratocreciente, espinas y placas de equinoideos, algas verdes (dasicladáceas), peloides, calcisferúlidos, rudistas requiénidos, gasterópodos y fragmentos subangulosos de bivalvos. Para la información obtenida se ha asignado: **CFW: 8, MFS: 24 (Laguna de plataforma marina restringida)**

Punto MADP50: 1,650 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.7 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo color vino y gris claro, presencia de karren, roca muy kárstica y fracturada. No se observan fósiles.

Pertenece a "packstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos miliólidos y texturados, peloides, ooides y algas verde-azules y tubos de gusanos tubícolas. Con los datos anteriores se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP51: 1,650 msnm. Las calizas gris-verde oscuro en corte fresco, están conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.5 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris, negro y blanco, zona muy kárstica, intemperizada y fracturada. No se observan fósiles.

Forma un "packstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita escasamente lavada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos miliólidos, texturados y espirilináceos, placas y espinas de equinoideos, peloides y algas verde-azules filamentosas. Por medio de la información anterior se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 10 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP52: 1,680 msnm. Las calizas gris-verde oscuro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro y negro, presencia de karren, rocas muy kársticas, intemperizadas y fracturadas. Se observan fósiles requiñidos.

Corresponde a "packstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biopelospirita escasamente lavada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con ooides, foraminíferos miliólidos, espirilínaceos y textuláridos, peloides, algas verde-azules filamentosas, placas de equinoideos, fragmentos de bivalvos y briozoarios. Mediante estos datos se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 10 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP53: 1,680 msnm. Las calizas gris-café claro en corte fresco, se presentan en cuerpos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo café amarillento y blanco, zona muy fracturada. No se observan fósiles.

Pertenece a "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con valvas de ostrácodos, foraminíferos miliólidos y fragmentos de bivalvos. Por medio de estos datos se ha asignado: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto MADP54: 1,690 msnm. Las calizas gris-verde claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor mediano (.3 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, roca muy fracturada. Se observan fósiles de ostreidos.

Esta muestra pertenece a un "wackestone" peloidal (Dunham, 1962) o pelmicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con peloides, foraminíferos miliólidos y textuláridos, algas verde-azules filamentosas (*Rivularia* sp.) e incrustantes y calcisferúlidos. Con esta información se ha asignado: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

TABLAS DEL ANÁLISIS MICROFACIAL

Tabla 2 - Abreviaturas usadas para el análisis microfacial de las áreas de El Doctor y El Madroño.

A: alga	FrBrIA: framestone de briozoarios y algas
AC: alga clorofita	FrR: framestone de rudistas
Ap: apatita	G: gasterópodo
AR: alga rodofita	GB: grainstone bioclástico
AV: alga verde	GFoB: grainstone de foraminíferos bentónicos
AVA: alga verde-azul	Gu: tubos de gusano tubícolas
B: bivalvo	I: intraclastos
BeBS: bioesparita bien sorteada	leEL: intraesparita escasamente lavada
BeEL: bioesparita escasamente lavada	LPMR: laguna de plataforma marina restringida
BeMS: bioesparita mal sorteada	M: mudstone o micrita
BeR: bioesparita redondeada	MB: mudstone bioclástico
Bi: bioturbación	MD: mudstone dolomítico
Bin: bindstone	MF: micrita fosilífera
Bio: biolita	MFS: microfacies standard
BmD: biomicrita dispersa	MPAA: medio de plataforma en agua agitada
BmE: biomicrita empaquetada	O: ooides
BpD: biopelmicrita dispersa	Oa: ostrácodos
BpE: biopelmicrita empaquetada	Os: ostreidos
BpeEL: biopelmicrita escasamente lavada	P: pellets
Br: braquiópodo	PB: packstone bioclástico
Bri: briozoario	PCA: plataforma de circulación abierta
C: calcisferúlidos	Pe: peloides
CFW: cinturón de facies de Wilson	PFB: packstone de foraminíferos bentónicos
CO: construcción orgánica	PI: plagioclasa
Co: coral	PmD: pelmicrita dispersa
Cu: cuarzo	PmE: pelmicrita empaquetada
D: dolomita	PMR: plataforma marina restringida
Di: diamicrita	R: rudista
DUNHAM: clasificación de Dunham	RB: rudstone bioclástico
E: equinoideo	RC: rudista caprínido
Es: esponja	RRa: rudista Radiolítico
Est: estromatopórido	RRe: rudista requienido
F: fenestras	T: talud
FB: floatstone bioclástico	WB: wackestone bioclástico
FoB: foraminíferos bentónicos	WFB: wackestone de foraminíferos bentónicos
FOLK: clasificación de Folk	WPe: wackestone peloidal
FoP: foraminíferos planctónicos	# M: no. de muestra
FR: floatstone de rudistas	

*Tabla 3a de resultados del Análisis Microfacial.

CATEGORIA	# M	CFW	MFS	DUNHAM	FOLK	CONTENIDO
-	1	-	-	-	-	E, D
-	1'	-	-	-	-	D
-	2	-	-	-	-	D
T	3	4	5	FB	BmE	O, E, AVA, FoB
T	4	4	5	FB	BmE	Bri, Os, Es, E, A, Br
T	5	4	5	FB	BmE	C, Es, Oa, FoB, AVA, Bri, Co, E, G
T	6	4	5	FB	BmE	Es, B, Co, Bri, C, E
T	7	4	5	FB	BmE	Bri, Es, Oa, Br, Co, Est, B, E, FoB, AR
T	8	4	6	RB	BmE	E, Bri, Co, Est, B, Oa, AVA, Os
T	9	4	4	FB	leEL	AVA, I, C, Es, Co, E, B
T	10	4	6	RB	BeEI	B, Bri, E, Ava, Os, FoB, C
T	11	4	5	FB	BeMS	Es, FoB, E, Est, C, AVA, Bi, I, P, Bri, AR, Cu
T	12	4	5	FB	BeMS	AVA, Bi, I, FoB, Est, R, Bri, Br, Co
T	13	4	5	FB	BmE	AVA, Bri, FoB, Os, Br, Gu, B, Bi, G, RC
T	14	4	5	WB	BmD	Es, E, Oa, AVA, FoB, RC
T	15	4	6	RB	BeMS	B, Bri, G, AVA, Co, Es, Os, Br, FoB
T	16	4	6	RB	BeMS	E, Bi, B, Co
T	17	4	5	FB	BeMS	Bri, Os, Bi, FoB, AVA
T	18	4	5	FB	BeMS	RC, Oa, Es, FoB, E, Br, B, Os, I
T	19	4	6	RB	BmE	FoB, E, Br, AVA, AR, Pe, Bi, Bri, RRa, I, AC
T	20	4	5	WB	BpD	E, Pe, Oa, Es, FoB, AV, G, Br, Bi, AVA, AC
T	21	4	5	PB	BpE	Es, Pe, E, AVA, FoB, B, AC, Bri, RRe
T	22	4	5	FB	BmE	AVA, AR, E, FoB, Bri, Est, B, Bi, Co, Os
CO	23	5	7	FrR	Bio	Es, B, FoB, RC, AVA, E
T	24	4	5	FB	BeMS	Os, B, Co, Bri, AVA, RC, RRe, E, Gu
PCA	25	2	9	WB	BmD	FoP
T	25'	4	5	FR	BeMS	AVA, Bi, B, RC, Es
T	26	4	5	FB	BmE	RC, Es, B, C, G, E, Oa
T	26'	4	5	GB	BeMS	AVA, R, Bri, Os
PCA	26"	7	9	MB	MF	Oa, FoB
LPMR	27	8	24	FB	BmE	E, C, Est, Es, Bi, Os, B, AVA, Oa,
PCA	28	7	9	WB	BmD	Os, Es, FoB, E
PCA	29	7	9	MB	MF	FoB
PCA	30	7	9	MB	MF	Oa, FoB
T	31	4	5	FB	BeMS	Bri, B, E, AR, AVA, R, Es
T	32	4	5	FB	BmE	Oa, FoB, Os, AVA, AR, E, Es, G, AC, B, Br, RRe
MPAA	33	5	12	RB	BeR	B, E, AR, Bri, I, AVA, Os, Es, Co, Oa, Bi
T	34	4	5	WB	BmD	Es, Pe, FoB, E, Oa, B, Co, Os, Bi
MPAA	35	5	12	FB	BeMS	B, AC, E, AV, FoB, AVA, G, Os, Co, Bri, Pe, Es, RRa
MPAA	36	5	12	FB	BmD	Pe, FoB, G, B, RRe, Bri, AV, E, Oa, AR, AC
MPAA	37	5	12	FB	BmD	AR, B, R, FoB, AC, Co, Pe, E, Bi, Es, Os, Oa, AVA
T	38	4	5	FB	BmD	B, C, E, Oa, G, Pe, AC, FoB
CO	39	5	7	FrBriA	Bio	AC, B, AVA, E, Oa, Bri

*Zona Gris: #M25: Fm. Soyatal, #M25'-30: derrumbes de Fm. El Abra. #M=MADP.

Tabla 3b de resultados del Análisis Microfacial. Continuación.

CATEGORIA	# M	CFW	MFS	DUNHAM	FOLK	CONTENIDO
MPAA	40	6	12	RB	BeMS	B, E, AR, Es, Bri, G, Co, Os
PCA	41	8	19	MB	MF	Oa, FoB
LPMR	42	8	24	FB	BmE	E, B, G, Bri, RC, AR
LPMR	43	8	24	FB	BmD	E, D, FoB, Co, Os, AC, AVA, Oa
LPMR	44B	8	24	FB	BmD	AR, Es, Os, B, FoB, E, C, Br, Bri, Oa, Bi, Cu, D
LPMR	66	8	24	FB	BeBs	B, AR, AC, Bri, AVA, G, RC
LPMR	66'	8	19	MB	MF	Oa, FoB
PCA	67	7	10	PB	PmD	FoB, Pe
PCA	67'	7	9	WB	BpE	Pe, E, FoB, AC
PCA	68	7	9	WB	BmD	D, FoB, E
PCA	69	7	9	MD	Di	D
PCA	44'B	7	9	MB	MF	D, Oa, FoB, Pe
LPMR	70	8	24	RB	BeMS	AVA, AC, E, Os, Co, Bri, B, Oa
LPMR	71	8	24	RB	BeMS	D, AC, E, AVA, Os, Pl
LPMR	72	8	19	MB	MF	B, Os, C, Oa, E, Cu
LPMR	73	8	19	WB	BpE	Pe, FoB, AVA, G, AC, Oa, Os, I
LPMR	74	8	19	WB	BmD	FoB, Oa, Pe, E, AC, Os
LPMR	44	8	24	FB	BmD	AC, E, B, Pe, Bi, AVA, FoB, Cu
LPMR	45	8	19	MB	MF	D, FoB, Oa, Pe, Es
PCA	46	7	9	MB	MF	D, FoB, E, Bi, Es, AVA
PMR	47	7	17	GB	BeBs	I, AR, AC, E, B, FoB, Pe, Co, Est, AVA
LPMR	48	8	24	RB	BeR	AC, E, B, Bri, G, Os, Co, AR
LPMR	49	8	24	FB	BmD	RRe, G, E, AC, B, Pe, C
PCA	50	7	9	WB	BmE	FoB, Pe, O, AVA, Gu
PCA	51	7	10	PB	BeEl	FoB, AC, E, Pe, AVA
PCA	52	7	10	PB	BpeEL	O, FoB, Pe, B, Bri, AC, E
PCA	53	7	9	MB	MF	Oa, FoB, B
PCA	54	7	9	WB	PmE	Pe, FoB, AC, AVA, C

11.4. - ANÁLISIS MICROFACIAL

Según los resultados del análisis microfacial realizado al área de El Madroño, se puede mencionar que presenta 6 Cinturones de Facies de Wilson (CFW) distribuidos en forma NW-SE (Figura 23), de los que los CFW 4 y 5 corresponden a la Facies Taninul, los CFW 6, 7 y 8 corresponden a la Facies El Abra, de la Formación El Abra y el CFW 2 corresponde a la Fm. Soyatal

Estos son de afuera hacia dentro (este a oeste):

• CFW 4 - Flanco arrecifal

Muestras número: MADP3-MADP22, MADP24, MADP31, MADP32 y MADP34.

MFS*: 4, 5 y 6.

En este cinturón de facies se pueden distinguir según la clasificación textural de Dunham (1962): "floatstone" y "rudstone" bioclástico compuesto principalmente por bivalvos, principalmente rudistas radiolíticos y caprinidos, briozoarios, y corales. "wackestone" y "packstone" bioclástico que constan de esponjas, equinoideos, foraminíferos bentónicos y algas verde-azules.

Según la clasificación textural de Folk (1959, 1962) se tiene: bioesparita mal sorteada y escasamente lavada, que corresponden a las Microfacies Standard (MFS) 5 y 6 (MADP10-MADP12, MADP15-MADP18, MADP24 y MADP31), con contenido fósil de briozoarios, algas verde-azules y foraminíferos bentónicos, biomicrita dispersa y empaquetada, que corresponden a las Microfacies Standard 5 y 6 (MADP3-MADP8, MADP13, MADP14, MADP19, MADP22, MADP32 y MADP34), con contenido fósil de equinoideos, briozoarios, esponjas y corales, intraesparita escasamente lavada, correspondiente a la Microfacies Standard 4 (MADP9), con contenido fósil de esponjas, corales y bivalvos, biopelmicrita dispersa y empaquetada con Microfacies Standard 5 (MADP20 y MADP21) y contenido fósil de equinoideos, esponjas, foraminíferos bentónicos, algas verde-azules y esqueletales.

Según Wilson (1975) esta facies forma un halo marginal al borde de la plataforma con bioconstrucciones de rudistas caprinidos y radiolíticos que generalmente se incluye en la Fm. El Abra. Este es un medio de diversos constructores arrecifales, los que varían de forma, como los rudistas caprinidos, radiolíticos (60% según Griffith *et al.*, 1969) y corales dendroides, que pueden encontrarse rodeados por flancos de "grainstone" de bioclastos de rudistas (Wilson, 1975).

*Cinturón de facies de Wilson (1975)

*Microfacies Standard

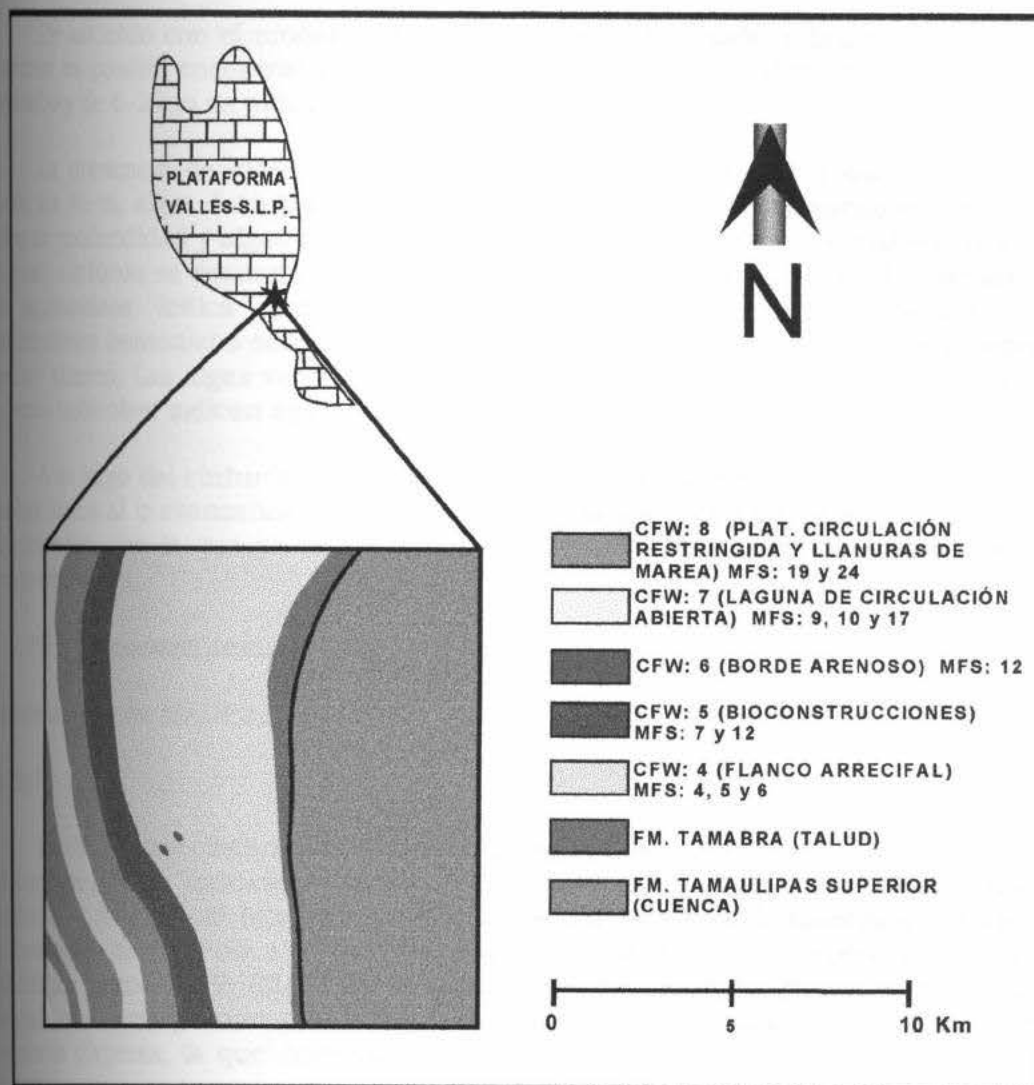


Figura 23 - Modelo facial del área de El Madroño.

Organismos accesorios (5% aproximadamente por grupo) como bivalvos, gasterópodos, algas coralinas y calcáreas, esponjas, y <5% de litoclastos son comunes.

Los depósitos de flanco arrecifal se encuentran bioturbados y con fósiles, lo que representa un rasgo de la oxigenación de los mismos (Read, 1985). El material está formado por fragmentos de organismos que habitan los flancos y cima arrecifal, con una inclinación de 2° hasta 15°, es inestable y varía mucho en tamaño.

Las características de este cinturón están determinadas por su inclinación, profundidad, y la cantidad de energía en su margen superior.

De acuerdo con el modelo para el área de El Madroño (Figura 36), en este cinturón es posible encontrar pináculos* arrecifales, que pueden tener de 5-50 m de ancho y de 6-20 m de alto (James, 1983).

La presencia de algas verde-azules, que viven desde la zona intermareal hasta los 45 m, algas dasicladáceas y esqueletales que se encuentran entre los 3-15 m de profundidad y algas coralinas rojas entre los 25-250 m, permiten concluir que este cinturón se encuentra a una profundidad máxima de 15 m. La presencia de equinoideos indica generalmente una salinidad marina normal. Los foraminíferos bentónicos son abundantes y son característicos en aguas cálidas de mar abierto. Las algas verde-azules incrustantes junto con foraminíferos y los gusanos tubícolas, indican aguas someras en la zona fótica (Wilson, 1975).

A lo largo del cinturón de facies se observa un aumento en la redondez de los bioclastos al ir avanzando hacia la siguiente facies, que van de subangulosos a redondeados, con lo que se puede afirmar que la profundidad va disminuyendo progresivamente.

• CFW 5 - Bioconstrucciones

Muestras número: MADP23, MADP33, MADP35-MADP39.

MFS: 7 y 12

Dentro de este cinturón de facies se pueden distinguir según la clasificación de Dunham (1962): "framestone" de rudistas, "framestone" de briozoarios y algas, "rudstone" y "floatstone" bioclásticos formados por bivalvos, briozoarios, corales y gasterópodos. Según Folk (1959, 1962) se tiene biolitita, que corresponde a la Microfacies Standard 7 (MADP23 y MADP39), bioesparita redondeada y mal sorteada que corresponden a la Microfacies Standard 12 (MADP33 y MADP35) y biomicrita dispersa, la que corresponde a la Microfacies Standard 12 (MADP36-MAD38).

Según Wilson (1975), en este cinturón el crecimiento orgánico es "in situ". Los subtipos propuestos por Embry & Klovan (1971) son: "framestone": con formas erectas, robustas y masivas; "bindstone": alfombras lamelares, incrustando capas de micrita y "bafflestone": formas frondosas abundantes en matriz fina.

Esta facies se extiende a una profundidad máxima de 15 m y es la parte más alta de la bioconstrucción, el agua es somera y en su cima recibe la mayor parte del viento y la energía del agua. La litología está formada por "bindstone" a "framestone". La composición depende de la fuerza del viento, la altura de las olas y la periodicidad de tormentas ciclónicas. Debido al tipo de fauna dominante, se puede pensar que la energía era de moderada a alta (James-Bourque, 1993).

En esta área se han encontrado acumulaciones de rudistas, algunos de ellos en posición de crecimiento (MADP23) y algunos otros desorientados en una

* Montículo o arrecife cónico, con lados escarpados y cima disminuida (Wilson, 1975).

matriz micrítica, rodeados por flancos de "grainstone" de bioclastos de rudistas (Wilson, 1975); los caprinidos se encuentran asociados a algas codiáceas en un amplio margen medioambiental. Los radiolíticos también comunes en el borde de plataforma, están asociados a corales, algas rojas y esponjas (biota típica de salinidad normal). Los organismos accesorios son corales, bivalvos, gusanos tubícolas, rudistas requiénidos y monopléuridos, foraminíferos bentónicos, etc.

El cinturón 5 (bioconstrucciones) puede alternar con facies del cinturón 6 de arenas calcáreas o pueden estar ambas presentes; esto depende de la combinación de la edad geológica y energía del agua (Wilson, 1975).

Los fragmentos que se encontraron en esta zona en su mayoría están redondeados y subredondeados lo que indica un movimiento constante de los granos debido a la energía del oleaje antes de ser sepultados.

De acuerdo con las etapas de sucesión ecológica (James, 1983), el área de El Madroño se encontraba en etapa de diversificación por la gran cantidad de taxa de los bioconstructores y la variedad en hábitos de crecimiento encontrado y calizas tipo "framestone" y "floatstone". Esta etapa provee el tamaño a la masa arrecifal donde existe mayor crecimiento vertical hacia el nivel del mar y un desarrollo más definido de las facies laterales. Estos hechos colocan al área de El Madroño dentro del grupo "arrecifal" y no del de montículos, los que nunca llegan a alcanzar esta etapa de clímax (James-Bourque, 1993).

Según los ciclos de desarrollo arrecifal, el periodo Cretácico se encuentra dentro del Ciclo II (James, 1983), con un episodio aberrante de crecimiento arrecifal cuando los rudistas bivalvos y los corales eran los más abundantes e importantes bioconstructores (Figura 24), lo que es evidente en las zonas de estudio de este trabajo.

La existencia de equinoideos indica generalmente condiciones de salinidad marina normal (Wilson, 1975), además los foraminíferos bentónicos son característicos de aguas cálidas de circulación abierta.

De acuerdo con la presencia de algas verde-azules, que se encuentran desde la zona intermareal hasta los 45 m, algas rodofitas incrustantes que viven entre <25 m-250 m y algas dasicladáceas que viven entre los 3-15 m, se puede saber que la profundidad en este cinturón es de 3-15 m, la salinidad era normal (35 partes por millón), con aguas cálidas.

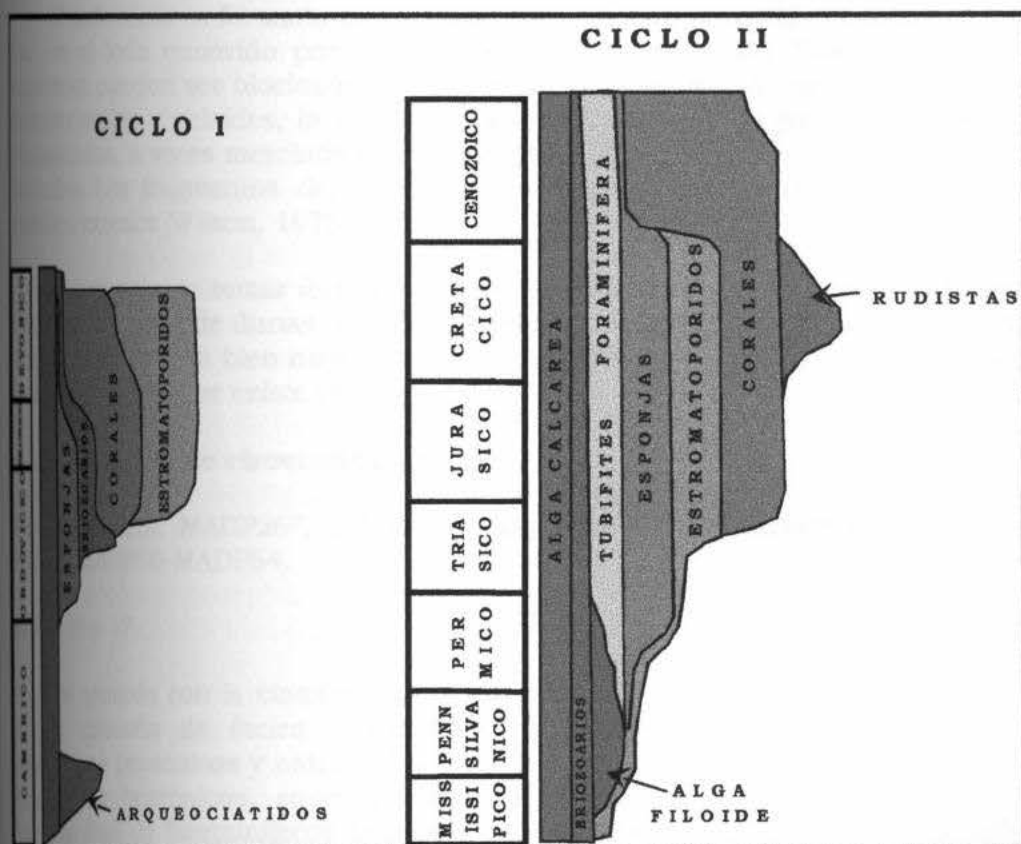


Figura 24 - Constituyentes bióticos de construcciones carbonatadas en el tiempo geológico durante el Fanerozoico. Modificado de James, 1983.

• CFW 6 - Borde arenoso de plataforma

Muestras número: MADP40

MFS: 12

Según la clasificación textural de Dunham (1962) se tiene: "rudstone" bioclástico, y de acuerdo a la clasificación de Folk (1959, 1962): bioesparita mal sortada corresponde a la Microfacies Standard 12 (MADP40), la que contiene fragmentos redondeados de bivalvos, esponjas, briozoarios, gasterópodos y corales.

Este cinturón de facies varía desde un pavimento de clastos esqueléticos grandes con algunos nódulos de algas coralinas y escombros, en áreas de olas fuertes, hasta bajíos de arena calcárea bien lavada en áreas con energía de oleaje moderada, como es el caso del área de El Madroño. La mayoría de este material proviene de la cresta arrecifal, que es apilada, producto de la refracción de las olas formando cayos o islas que protegen pequeños medios de agua tranquila cerca de la cresta arrecifal, con sólo algunos cuantos metros de profundidad. Se pueden encontrar algunos grupos aislados de metazoarios constructores. Los tipos de roca que resultan de esta facies van de "grainstone" a "rudstone" (James, 1983).

El sedimento es formado en medios someros con la acción constante de las olas, con el lodo removido por el agitación del agua; los fragmentos que se encuentran pueden ser bioclastos variados o de algún tipo de especie. Se pueden encontrar ooides y peloides, litoclastos alóctonos, además de partículas cubiertas y desgastadas, a veces mezclados con lodo peloidal que se deposita en áreas más tranquilas. Los fragmentos desgastados indican un transporte desde el medio inmediato exterior (Wilson, 1975).

La facies puede tomar forma de bajíos, playas, barras de marea en abanicos o cinturones, o islas de dunas. Estas arenas alcanzan entre 5-10 m sobre el nivel del mar. El medio está bien oxigenado pero no apto para la vida marina debido al sustrato cambiante que existe (Wilson, 1975).

• CFW 7 - Laguna de circulación abierta

Muestras número: MADP26", MADP28-MADP30, MADP67-MADP44'B, MADP46, MADP47, MADP50-MADP54.

MFS: 9, 10 y 17.

De acuerdo con la clasificación textural de Dunham (1962) se encuentran en este cinturón de facies: "mudstone" bioclástico con contenido fósil de foraminíferos bentónicos y ostrácodos; "wackestone" bioclástico con contenido de foraminíferos bentónicos, equinoideos y peloides; "packstone" bioclástico con contenido fósil de foraminíferos bentónicos, peloides, algas verdes y equinoideos; "grainstone" bioclástico con clastos redondeados de varios tipos de algas, intraclastos, equinoideos, bivalvos, peloides, foraminíferos bentónicos, corales y estromatopóridos; "mudstone" dolomítico sin fósiles.

Según la clasificación de Folk (1959, 1962) se obtuvo micrita fosilífera que corresponde a la Microfacies Standard 9 (MADP26", MADP29, MADP30, MADP44'B y MADP53); biomicrita dispersa que pertenece a la Microfacies Standard 9 (MADP28, y MADP68); biomicrita empaquetada perteneciente a la Microfacies Standard 9 (MADP50); pelmicrita dispersa correspondiente a la Microfacies Standard 10 (MADP67); pelmicrita empaquetada que se interpreta dentro de la Microfacies Standard 9 (MADP54); biopelmicrita empaquetada ubicada en la Microfacies Standard 9 (MADP67); biopelesparita escasamente lavada que pertenece a la Microfacies Standard 10 (MADP52); dismicrita que corresponde a la Microfacies Standard 9 (MADP69); bioesparita bien sorteada correspondiente a la Microfacies Standard 17 (MADP47) y bioesparita escasamente lavada la que se ubica también dentro de la Microfacies Standard 10 (MADP51).

Esta facies está definida* como "grainstone" con partículas cubiertas (Coogan, 1972 y Griffith *et al.*, 1969) o facies oolítica (Carrasco, 1970). El sedimento es de litoclastos, miliólidos, y algas dasicladáceas, también puede haber "grapestones" y peloides.

*En general para los bancos carbonatados del Cretácico "Medio" del centro de México (Wilson, 1975).

En esta zona es donde mucho del lodo formado en el arrecife sale de la suspensión. Esto, junto con la fauna bentónica productora de arena y lodo, como las algas verdes calcáreas, braquiópodos, ostrácodos y otros, resulta en litologías ricas en lodo (James-Bourque, 1993). Los tipos de roca característicos de este medio son "bafflestone" o "floatstone" hasta "framestone" ocasional con matriz de "wackestone" a "packstone" esquelético (James, 1983).

Estos medios se localizan en estrechos, lagunas abiertas y bahías junto al borde de plataforma externa en aguas cálidas. La profundidad es generalmente somera, con sólo algunas decenas de metros cuando mucho. La salinidad es de normal a variable. La circulación del agua es moderada.

En este cinturón de facies se encuentran organismos sésiles enraizados en micrita, en un ambiente tranquilo con contenido de infauna y epifauna, fragmentos de varios organismos y con bioturbación abundante producida por gusanos tubícolas, moluscos y equinoideos (Wilson, 1975)

Los rudistas monopléuridos y radiolítidos vivían en medios de agua agitada y bien oxigenada hasta medios protegidos de interior de plataforma.

Por el contenido de algas dasicladáceas que viven a una profundidad máxima de 15 m, codiáceas que se encuentran entre <10-100 m, algas rojas entre <25-250 m y algas verde-azules con un rango entre la zona intermareal y los 45 m, se puede proponer una profundidad de 3-15 m para esta facies. El hecho de tener carbonatos de medios restringidos, apoya la idea de que la laguna era poco profunda.

La presencia de equinoideos indica generalmente condiciones normales de salinidad (37 ppm). Los foraminíferos bentónicos son abundantes y son característicos de aguas cálidas de mar abierto. Las codiáceas filamentosas viven en aguas tropicales, comúnmente incrustando algas verde-azules y junto con foraminíferos indican aguas someras dentro de la zona fótica. Los gusanos tubícolas cubren amplias áreas con superficies duras en zonas intermareales o submareales someras. La falta de braquiópodos, briozoarios, algas rodofitas y corales, indica que los organismos no vivían en completas condiciones de mar abierto, sino de agua de plataforma en aguas más cálidas y reducidas en nutrientes.

Los granos desgastados y micritizados indican un transporte antes de su deposición.

• CFW 8 - Plataforma de circulación restringida y llanuras de marea

Muestras número: MADP27, MADP41-MADP66', MADP70-MADP45, MADP48 y MADP49.

MFS: 19 y 24.

Según la descripción textural de Dunham (1962) se interpreta como: "floatstone" y "rudstone" bioclástico con contenido fósil de bivalvos (ostreidos y

rudistas requiénidos, radiolítidos y caprinidos), gasterópodos, briozoarios, corales, dolomita, algas verde-azules, rojas y verdes y equinoideos; "wackestone" bioclástico con contenido fósil de peloides, foraminíferos bentónicos, algas verdes, ostreidos y ostrácodos; "mudstone" bioclástico con contenido fósil de ostrácodos y foraminíferos bentónicos. De acuerdo con la clasificación textural de Folk (1959, 1962), se interpreta como: biomicrita empaquetada (MADP27 y MADP42) y biomicrita dispersa (MADP43, MADP44B, MADP44 y MADP49); que corresponden a la Microfacies Standard 24; biomicrita dispersa (MADP74) con Microfacies Standard 19; biopelmicrita empaquetada (MADP67) la que pertenece a la Microfacies Standard 19; bioesparita bien sorteada (MADP66), mal sorteada (MADP70 y MADP71), y bioesparita redondeada (MADP48) correspondientes a la Microfacies Standard 24; y micrita fosilífera (MADP41, MADP66', MADP72 y MADP45) que se ubica en la Microfacies Standard 19.

En este cinturón se encuentran comunmente facies cíclicas, repeticiones progresivas de estratos en una secuencia de somerización, principalmente calizas bioturbadas de ambiente submareal-intermareal con laminitas criptalgales supramareales (Read, 1985).

Principalmente se encuentran facies de sedimento fino en estanques cerrados y lagunas muy someras, y facies de sedimento más grueso en canales de marea y playas locales y todo el complejo de medios de llanuras de marea. Las condiciones son extremadamente variables y constituye un medio de estrés para los organismos. En ellos se encuentra agua dulce, salada e hipersalina (>45 ppm), además de áreas de exposición sub-aérea (reductoras) y vegetación marina y de pantano. El material terrígeno llevado por el viento puede contribuir en forma significativa. Los efectos diagenéticos en estas zonas están muy marcados en el sedimento (Wilson, 1975).

En este cinturón de facies existe muy poco movimiento del agua cálida, somera y con circulación moderada. La depositación se realiza en bahías y estanques mareales. La laminación algal con granos aislados de cuarzo es común en la zona intermareal, donde también se puede encontrar bioturbación orgánica aislada, generalmente vertical. En los bordes de estanques y canales con agua tranquila, se pueden encontrar sedimentos con oncoides. El "mudstone" carbonatado y la fábrica algal porosa se encuentran en estanques salinos o mareales de evaporación. Es común encontrar depósitos "lag" en los canales de marea (Wilson, 1975). La dolomitización es favorable en climas tropicales, dentro de las llanuras de marea. También puede haber laminación peloidal y fábrica fenestral producto de fracturas de desecación (MFS 19). En los canales de marea se puede encontrar "grainstone" de bioclastos, litoclastos e intraclastos, algunos micritizados en la periferia o barrenados por algas verde-azules filamentosas.

Los biostromas de rudistas requiénidos junto con abundantes miliólidos y carpetas algales, forman una parte importante de la laguna marina restringida y medios intermareales del Cretácico, resistiendo exitosamente a cambios frecuentes en salinidad y temperatura.

La baja diversidad de organismos (ostreidos, foraminíferos bentónicos, ostrácodos y algas dasicladáceas) indica condiciones de circulación restringida y

tranquila. La presencia de equinoideos indica una salinidad normal, aunque en algunos lugares el agua es más cálida, más salina y con pocos nutrientes.

Se ha visto que existe una asociación de los principales grupos algales, con ciertos grupos de rudistas, como los rudistas requiñados y las algas estromatolíticas, juntos en los extremos post-arrecifales (como en el caso de la Formación El Abra).

Según el contenido de algas verdes, que viven en aguas cálidas, someras y con salinidad variable, algas verde-azules que viven con salinidad variable, dulce a hipersalina y algas rojas, se puede decir que la profundidad de esta facies va desde la zona intermareal hasta una profundidad máxima de 15 m en los canales de marea.

• CFW 2 - Plataforma de mar abierto*

Muestras número: MADP25

MFS: 9

Según la clasificación textural de Dunham (1962) se obtuvo: "wackestone" bioclástico con contenido fósil de foraminíferos planctónicos recristalizados y según la de Folk (1959, 1962) se encontró: biomicrita dispersa perteneciente a la Microfacies Standard 9.

En este cinturón de facies se pueden encontrar abundantes brechas y turbiditas interestratificadas con carbonatos de periplataforma y lodos terrígenos. Si el talud tiene aguas óxicas, pueden estar bioturbadas y con fósiles (Read, 1985).

El patrón de la facies dependerá de si la construcción del banco carbonatado inicia desde una cuenca euxínica más profunda o inicia sobre una plataforma marina con circulación abierta.

Esta facies de talud bajo puede contener bioclastos finos y peloides con textura fina, la laminación cruzada fina es común.

La profundidad puede ser de decenas o aún centenas de metros, el agua es generalmente oxigenada, con salinidad marina normal y buena circulación. Es suficientemente profunda para estar debajo del nivel normal de la base de las olas, pero las tormentas intermitentes afectan los sedimentos de la base (Wilson, 1975).

En el área de trabajo de El Madroño se reconocieron 10 Microfacies Standard:

*Este cinturón no será incluido por corresponder a la Fm. Soyatal, la que es posterior a los carbonatos de estudio.

1. "Floatstone" bioclástico con intraclastos - Estratificación gruesa, color gris-verde, con fragmentos de bivalvos con envoltura micrítica e intraclastos barrenados (MFS 4) (Figura 26).
2. "Wackestone/packstone" bioclástico y/o con peloides a "floatstone" bioclástico - Estratificación mediana a masiva, color gris, gris/café, gris/verde claro, con esponjas, equinoideos, foraminíferos bentónicos, algas, briozoarios, corales y rudistas (MFS 5) (Figura 27).
3. "Rudstone" bioclástico - Estratificación mediana a masiva, color gris, gris/café claro, con briozoarios, corales y rudistas (MFS 6) (Figura 28).
4. "Framestone" de briozoarios y algas o rudistas - Estratificación gruesa, color gris, gris/verde claro, con rudistas y algas incrustantes (MFS 7) (Figura 29).
5. "Mudstone" a "wackestone" bioclástico - Estratificación mediana a masiva, color gris y gris/verde claro, gris/café, gris/verde y café/verde oscuro, con ostrácodos, foraminíferos bentónicos, peloides, dolomita, equinoideos y algas (MFS 9) (Figura 30).
6. "Packstone" peloidal y/o con miliólidos - Estratificación mediana a gruesa, color café/verde claro a gris/verde oscuro, con algas y equinoideos (MFS 10) (Figura 31).
7. "Floatstone" y "rudstone" arrecifal - Estratificación mediana a masiva, color gris, gris/verde claro, coquina con ostreidos, briozoarios, esponjas, corales, equinoideos, gasterópodos y rudistas caprinidos, radiolítidos, requiénidos y monopléuridos (MFS 12) (Figura 32).
8. "Grainstone" bioclástico - Estratificación gruesa; color gris/café oscuro, con intraclastos, peloides, algas, miliólidos, equinoideos, estromatopóridos y fragmentos de bivalvos con envoltura micrítica (MFS 17) (Figura 33).
9. "Mudstone" a "wackestone" bioclástico y/o con peloides - Estratificación gruesa a masiva, color café/verde, gris/verde oscuro, con ostrácodos, foraminíferos bentónicos, dolomita y fragmentos de ostreidos (MFS 19) (Figura 34).
10. "Floatstone" y "rudstone" bioclástico - Estratificación mediana a masiva, color gris, gris/verde claro, gris/café, café/verde oscuro, con equinoideos, ostreidos, briozoarios y rudistas (MFS 24) (Figura 35).

Las 4 primeras microfacies y la 7 corresponden a la Facies Taninul y la 5, 6, 8, 9 y 10 pertenecen a la Facies El Abra de la Formación El Abra (Figura 30).

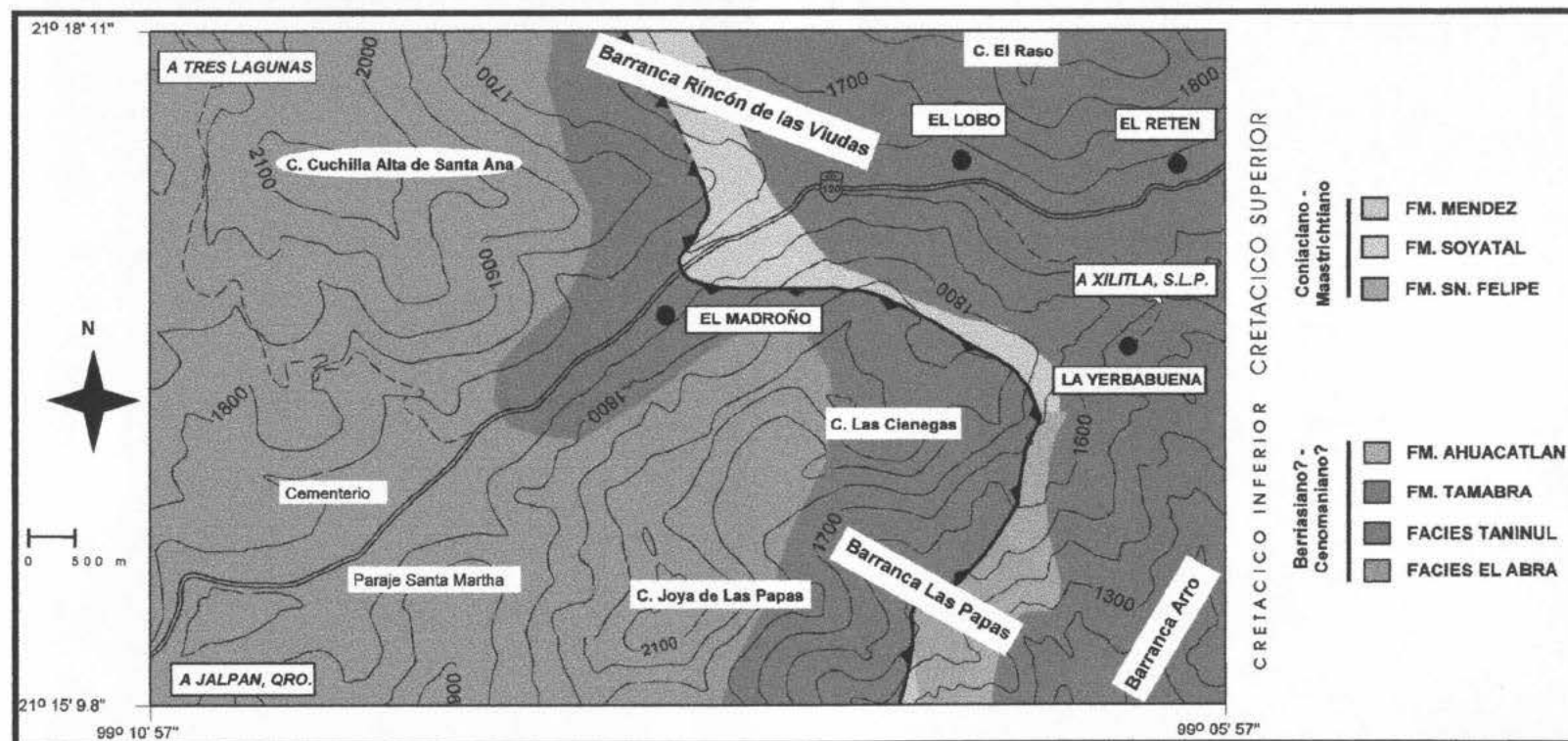


Figura 25 - Situación de las facies El Abra y Taninul de la Fm El Abra en el área de El Madroño. Modificado de Suter, 1988.

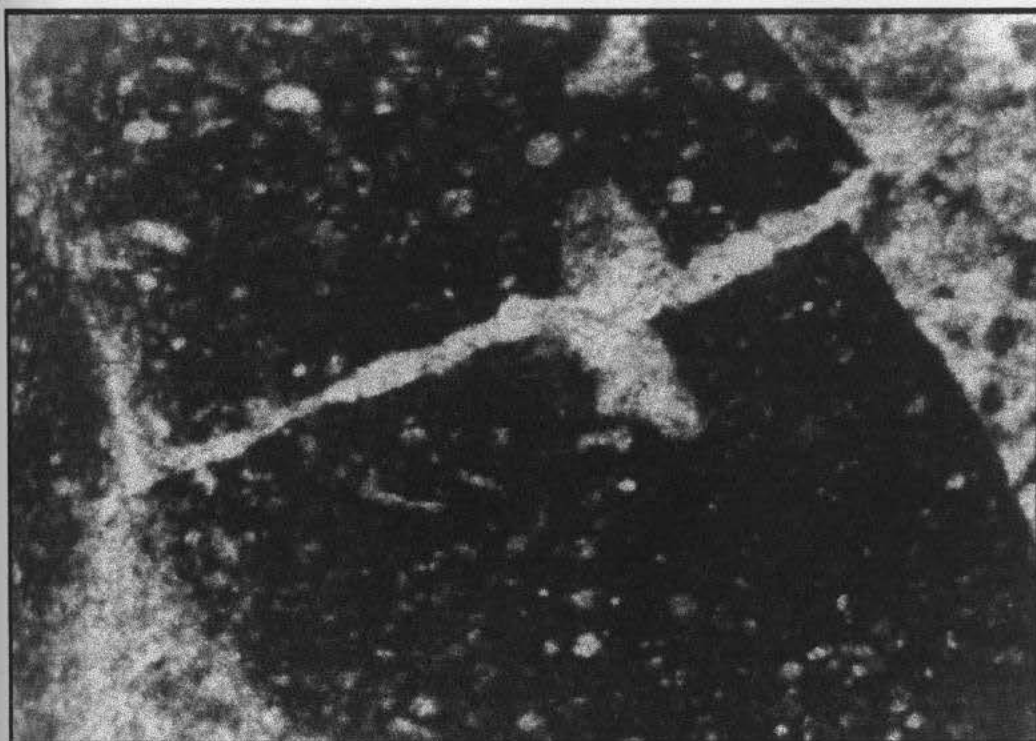


Figura 26 - Micrografía de la Microfacies 1 - "Floatstone" bioclástico con intraclastos: intraclasto fragmentado (MADP9) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

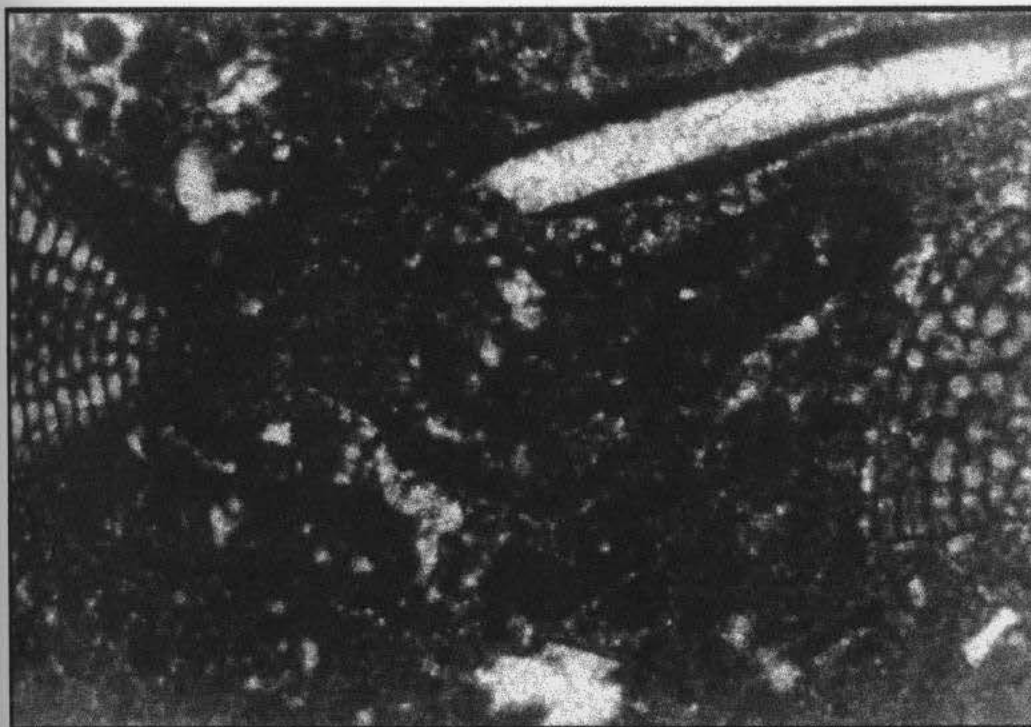


Figura 27 - Micrografía de la Microfacies 2 - "Wackestone" bioclástico con peloides: *Dictyoconus walnutensis* con fragmento de bivalvo arriba (MADP34) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

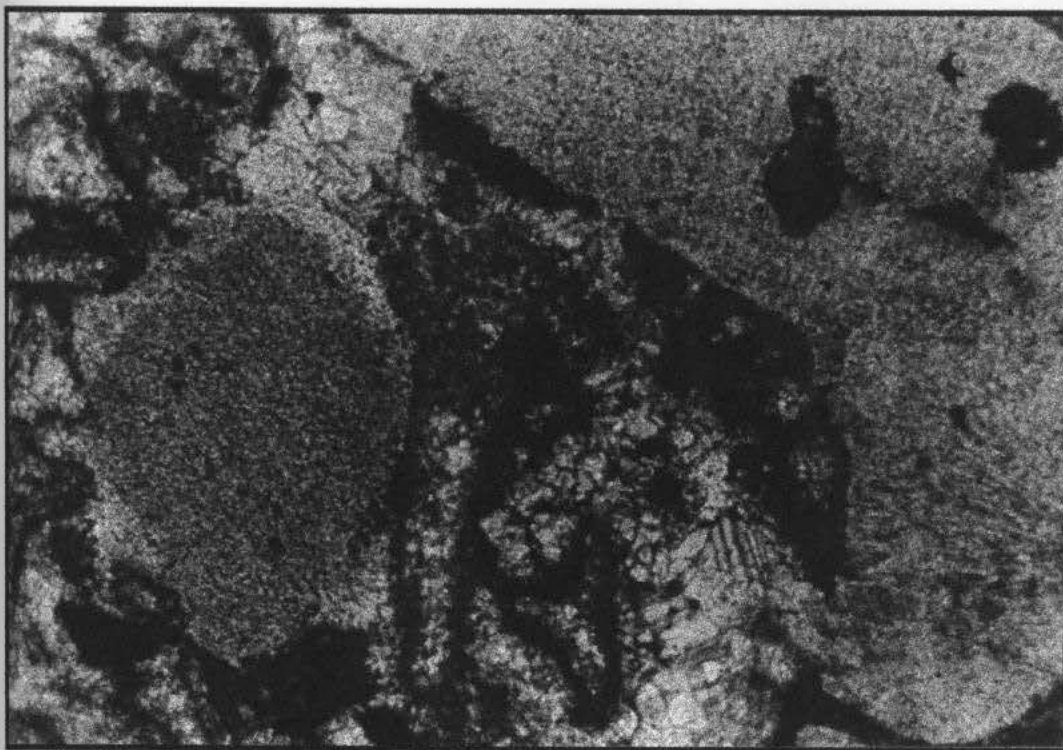


Figura 28 - Micrografía de la Microfacies 3 - "Rudstone" bioclástico: fragmento de bivalvo y placa de equinoideo (MADP16) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

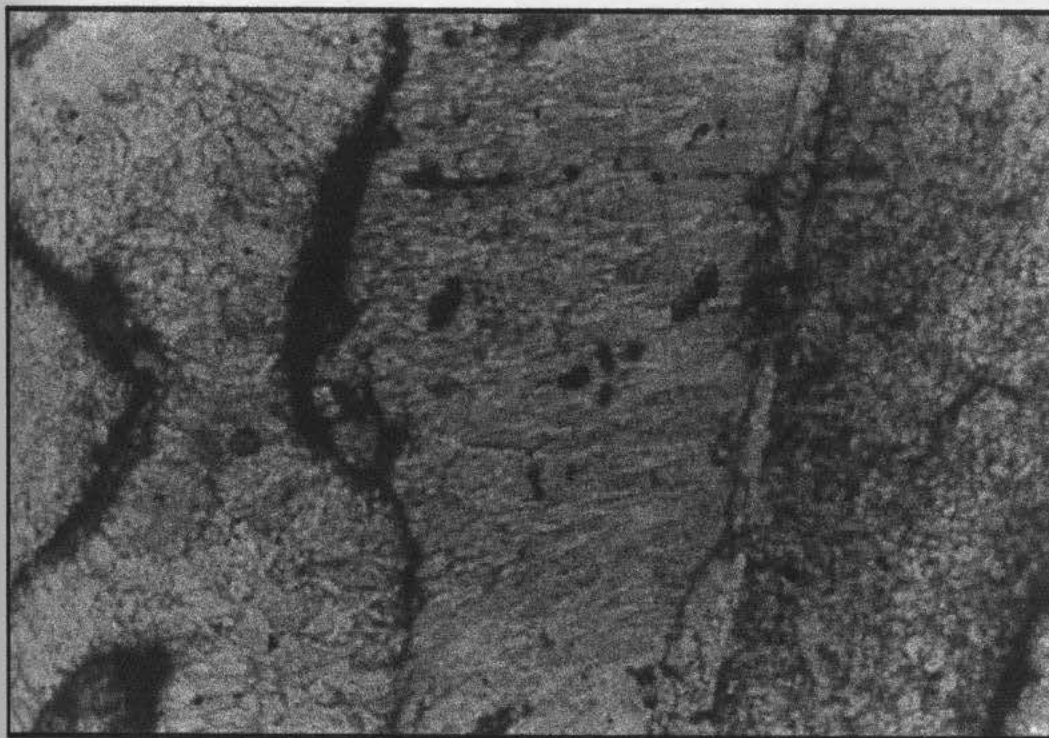


Figura 29 - Micrografía de la Microfacies 4 - "Framestone" de briozoarios y algas: briozoario, bivalvo y alga verde (MADP39) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

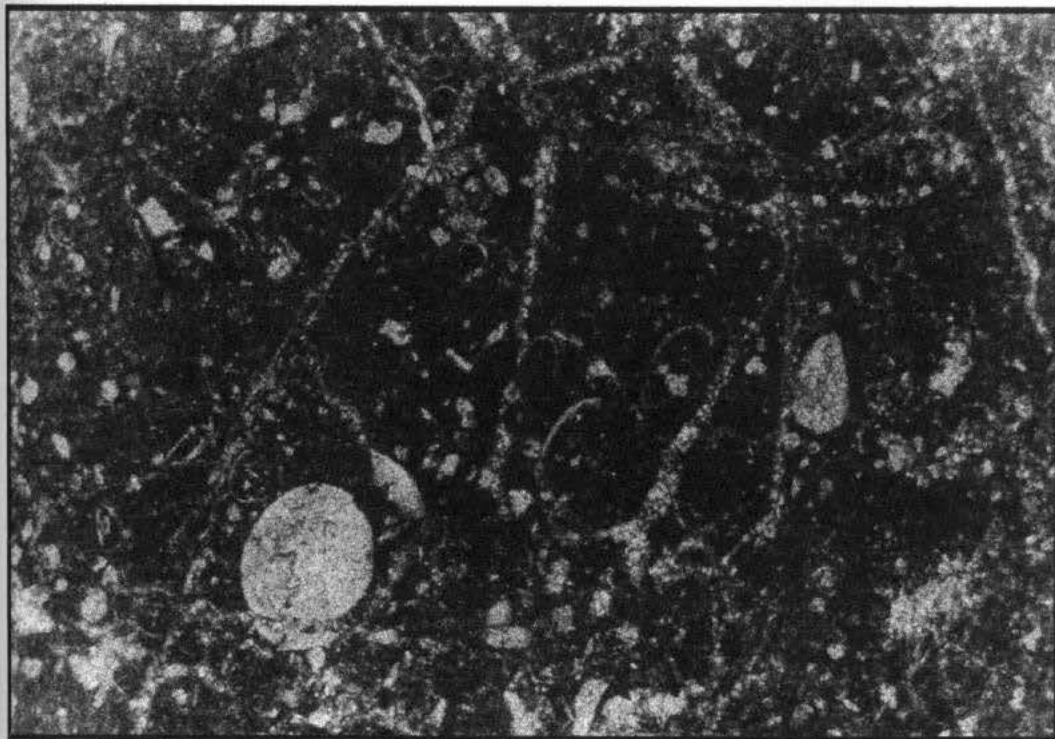


Figura 30 - Micrografía de la Microfacies 5 - "Wackestone" bioclástico: placas de equinoideos, espículas de esponjas y bioclastos (MADP28) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

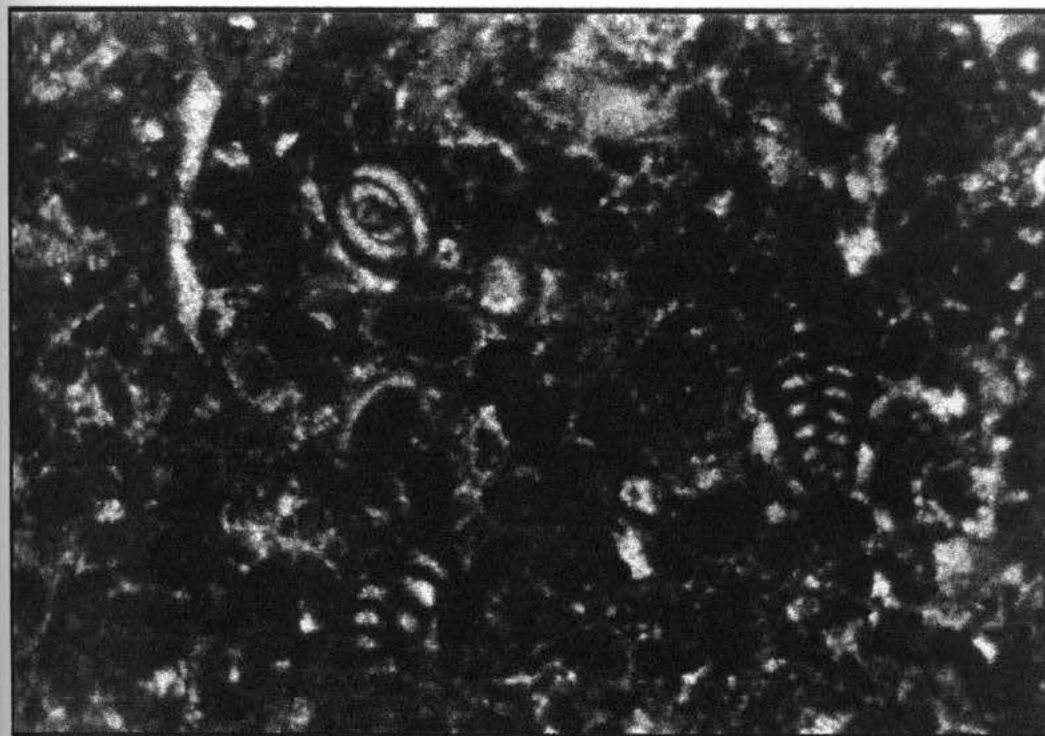


Figura 31 - Micrografía de la Microfacies 6 - "Packstone" peloidal con miliólidos: miliólidos y peloides (MADP67) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).



Figura 32 - Micrografía de la Microfacies 7 - "Floatstone" arrecifal: gasterópodo, fragmento de alga dasicladácea y bivalvos en la parte superior (MADP38) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

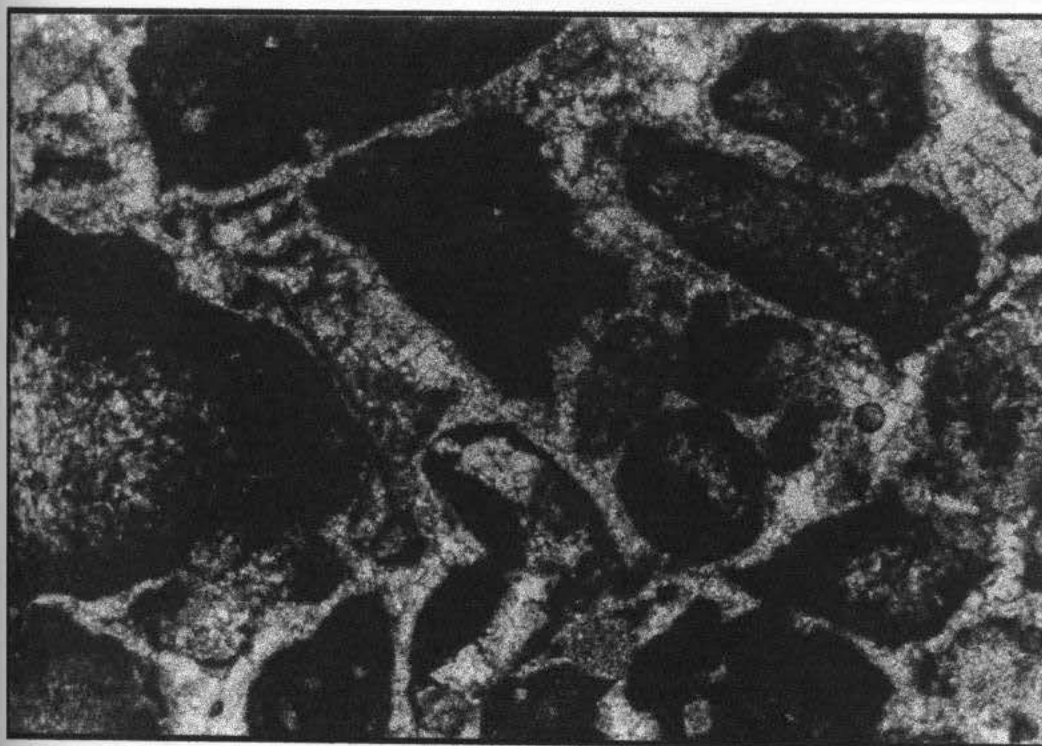


Figura 33 - Micrografía de la Microfacies 8 - "Grainstone" bioclástico: bioclastos redondeados con envoltura micrítica (MADP47) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

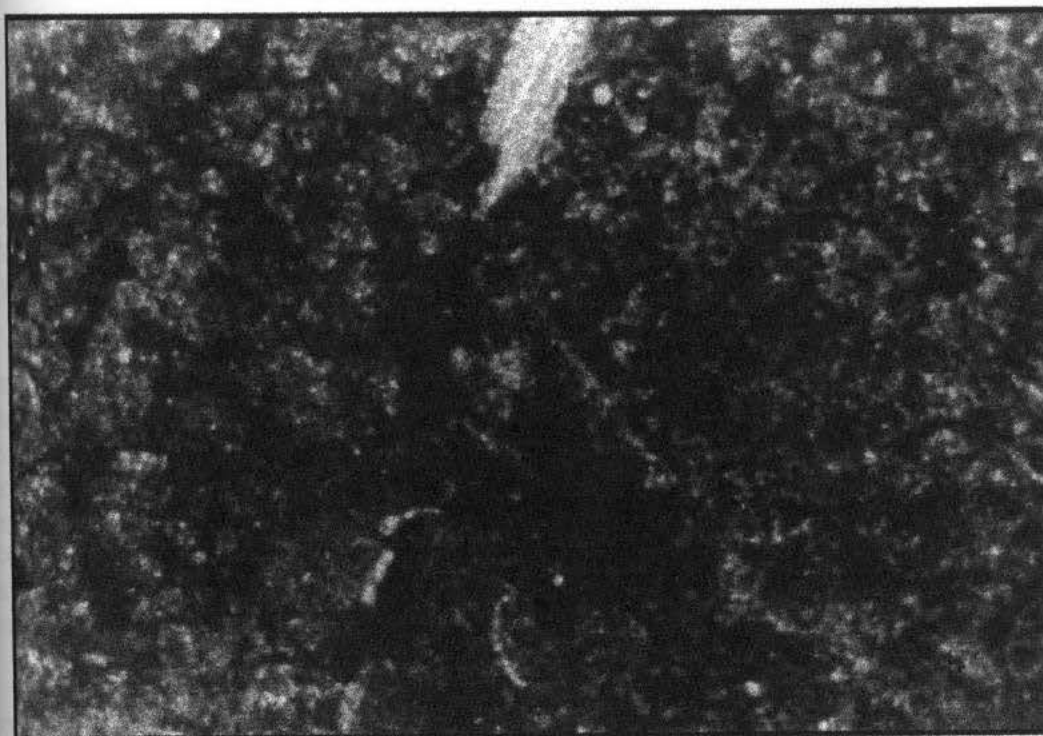


Figura 34 - Micrografía de la Microfacies 9 - "Mudstone" bioclástico con peloides: ostrácodos, fragmento de ostreido y peloides (MADP72) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

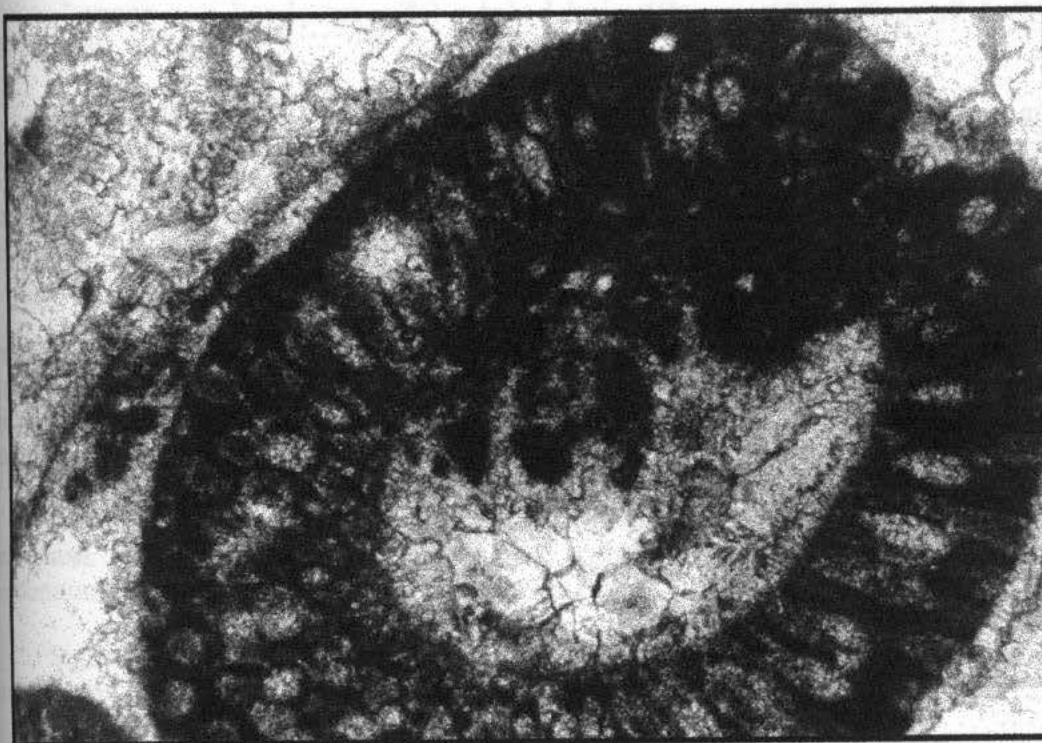


Figura 35 - Micrografía de la Microfacies 10 - "Rudstone" bioclástico: alga dasicladácea (MADP70) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

11.4.1. - MODELO DE PLATAFORMA AISLADA INUNDADA

De acuerdo con los modelos de facies de plataformas carbonatadas de Read (1985), la Plataforma Valles-S.L.P. corresponde al modelo de plataforma aislada inundada. Esta es producto de las transgresiones del Albiano-Cenomaniano, en las que se formaron rampas que evolucionaron rápidamente en plataformas. En este tipo de plataformas, la inundación puede ser sincrónica sobre grandes áreas.

Donde la subsidencia o el nivel del mar excede el crecimiento vertical, las rampas, plataformas con borde y las aisladas pueden experimentar una inundación completa o incipiente (Kendall & Schlager, 1981; Schlager, 1981). La inundación ocurre donde el rango de aumento del nivel del mar excede el rango de acumulación vertical y la plataforma es sumergida debajo de la zona fótica, terminando con la producción y acumulación de carbonato por los organismos fotosintéticos (Kendall & Schlager, 1981). La zona eufótica en mar abierto se puede extender hasta los 100 m de profundidad, pero puede ser hasta de 30 m en cuencas donde los carbonatos de grano fino o partículas clásticas son abundantes.

Al aumentar el nivel relativo del mar, el borde de plataforma puede retroceder, dejando al frente de este a una plataforma profundamente sumergida. Durante la inundación de plataformas con borde, numerosas bioconstrucciones aisladas pueden desarrollarse en la plataforma sumergida (Figura 36). Estos pueden ir desde angostos arrecifes pinaculares (como es el caso de esta zona) hasta anchos bancos con borde arrecifal o talud bajo (Klovan, 1974; Kendall & Schlager, 1981; Read, 1982).

La transición vertical de una plataforma somera hacia facies de agua más profunda, puede ser abrupta o gradacional. La inundación generalmente requiere pulsos de subsidencia o aumento del nivel del mar mayores que el promedio (1-10 cm/1000 años en márgenes pasivos), o condiciones de estrés en las comunidades residentes, por cambios climáticos o medioambientales.

La Plataforma Valles-San Luis Potosí ha sido construida en forma ascendente en un área de subsidencia geosinclinal, donde la sedimentación sólo trataba de seguir el ritmo (Wilson, 1975). El grosor estratigráfico que experimenta esta plataforma es, por tanto, producto del alto rango de subsidencia que existía en esa zona.

La completa inundación* de las plataformas ocurre donde la submergencia† sobrepasa la bioconstrucción por la producción biológica del sedimento carbonatado (Read, 1985).

Siguiendo la inundación, las plataformas pueden cubrirse con fondos endurecidos (hardgrounds), caliza de agua profunda, nodular o argilácea,

Submergencia de la superficie de la plataforma debajo de la zona fótica (Schlager, 1990) por aumento del nivel del mar o somerización del límite fótico.

*Relativa a la subsidencia o aumento del nivel del mar.

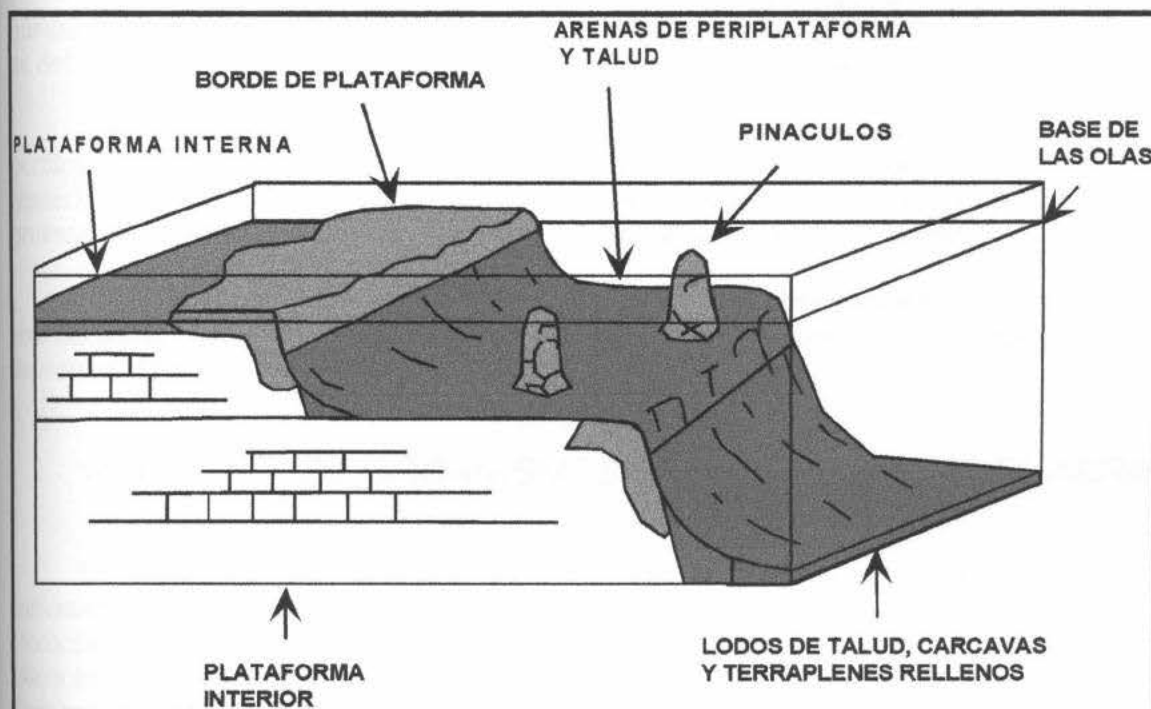


Figura 36 - Modelo idealizado de plataforma aislada inundada, con borde retrogradante y arrecifes pinaculares en la plataforma profunda. Modificado de Read, 1985.

carbonatos pelágicos o una cubierta de talud de periplataforma de partes de plataformas someras adyacentes.

En las mayores plataformas de México como es el caso de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, el talud y las cimas planas son característicos. Los cinturones rodean completamente las plataformas por lo que hay una diferenciación de facies muy pequeña hacia el lado de barlovento (Wilson, 1975).

11.4.2. -EVOLUCIÓN DE LA PLATAFORMA

La mayoría de las plataformas aisladas en márgenes continentales pasivos, parecen desarrollarse en corteza transicional o continental con rápida subsidencia (Mullins & Lynts, 1977), comunmente durante las primeras fases de apertura de cuencas oceánicas. Muchas están sobreyacidas por carbonatos regionales de aguas someras y están localizadas sobre horsts, siendo los grabens adyacentes los sitios de depositación de agua más profunda. Otras se desarrollan sobre niveles estructurales altos en el interior del continente durante periodos de aumento del nivel del mar.

Inicialmente, ciertas plataformas aisladas tienen talud como rampa, pero éste con el tiempo puede desarrollar en un margen de alto relieve. La subsidencia junto con la construcción vertical de la plataforma, crea relieves de los grandes bancos hacia las cuencas.

Con un aumento rápido del nivel del mar, las plataformas aisladas pueden quedar completamente inundadas y cubiertas por facies de cuenca o por una capa de detritos de periplataforma de plataformas someras ya existentes.

Los bordes fallados de las plataformas carbonatadas son evidentes en perfiles sísmicos y también pueden ser reconocidos en campo. El fallamiento posterior a los carbonatos comunmente está asociado con la progradación de gruesas secuencias clásticas, como es el caso de la Formación Soyatal.

En márgenes pasivos, las plataformas carbonatadas se desarrollan comunmente sobre rifts volcánicos, sedimentos clásticos y evaporitas, o sobre depósitos clásticos maduros de plataforma.

11.5. - LISTA DE ORGANISMOS FÓSILES DE LA FM. EL ABRA.

La lista que se muestra a continuación tiene como objeto actualizar información contenida en los primeros artículos del área de El Madroño (Alencáster, 1987), recopilar información más reciente sobre dicha localidad (Alencáster y Aguilar, 1996; Alencáster, 1998; Alencáster y Oviedo, 1998; Rosales-Domínguez, 1998) y nombrar otros fósiles encontrados al momento de realizar este estudio. Además de añadir comunicaciones personales de investigadores que han trabajado en esta zona.

- **Algas rojas**

Coralinaceas

Solenoporáceas

- **Algas verdes**

Algas codiáceas

Cayeuxia kurdistanensis Elliot, 1956

Algas dasicladáceas

Salpingoporella sp.

Calcisferúlidos

- **Algas verde-azules**

Rivularia sp.

- **Amonitas enanas**

- **Braquiópodos**

Terebratulidos

- **Briozoarios**

- **Corales**

Escleractínidos

- **Equinoideos**

- **Eponjas**

Calcáreas

Esclerospongeas

Globulares

Silíceas

- **Estromatopóridos**

- **Foraminíferos bentónicos**

1. **Ataxofrágmidos**

Spirillina sp. Ehrenberg, 1843

Tritaxia sp. Reuss, 1860

2. **Barkerinidos**

Barkerina barkerensis Frizzel & Schwartz, 1950

3. **Heterohelícidos**

Pseudotextularia sp. Rzehak, 1891

4. **Miliólidos**

Cuneolina sp. D'Orbigny, 1839

Nummuloculina heimi Bonet, 1956

Paracoskinolina sp.

Paracoskinolina sunnilandensis Maync, 1955

Pyrgo sp. Defrance, 1824

Quinqueloculina sp. D'Orbigny, 1826

Triloculina sp. D'Orbigny, 1826

5. **Nubeculáridos**

Spiroloculina sp. D'Orbigny, 1826

6. **Orbitolínidos**

Dictyoconus walnutensis Carsey, 1926

Dictyoconus sp. Blackenhorn, 1900

Coskinolinoides texanus Keijzer, 1942

Orbitolina sp. D'Orbigny, 1850

7. **Textuláridos**

Spiroplectammina sp. Cushman, 1927

Textularia sp. Defrance, 1824

8. **Valvulinidos**

• **Gasterópodos**

Actaeonellidos

Cerithidos

Nerineidos

Nerinea galatea Coquand

Neritidos

Pileolus sp. G.B.Sowerby, 1823

Trochidos

Cimolittium? *miyakoense* Nagao

"*Cerithium*" *peconense* Stanton

Discotectus cripus Blanckenhorn

Afrollonia matsushimensis Kase

Solariella serrata Stanton

Ptygmatis tomasensis Allison

Nerinoidea? *ashimensis* Kase

Gymnentome (*Gymnentome*) *zebra* Gabb

Hanaibursa aquilana Parona

Trochacteon parvus Stanton

• **Gusanos tubícolas**

• **Ostrácodos**

• **Bivalvos**

A. **Ostreidos**

B. **Pectínidos**

C. **Pelecípodos**

D. **Rudistas**

1. **Caprinidos**

Caprinuloidea gracilis Palmer, 1928

C. perfecta Palmer, 1928

Guzzella acuminata Alencáster, 1998

G. bisulcata. Alencáster, 1998

Guzzella sp. Alencáster, 1998

Jalpania queretana Alencáster y Aguilar, 1996

Kimbleia albrittoni Perkins, 1960

Mexicaprina cornuta Coogan, 1973

M. minuta Coogan, 1973

M. quadrata Alencáster y Oviedo,
1998

Muelleriedia boesei Alencáster, 1998

Muelleriedia sp. Alencáster, 1998

Texicaprina kugleri Bouwman, 1937

Texicaprina vivari Palmer, 1928

2. **Monopléuridos**

Monopleura sp. Matheron, 1843

Monopleura sp. Matheron, 1843

M. marcida White, 1884

M. pinguiscula White, 1884

3. **Radiolítidos**

Eoradiolites davidsoni Hill, 1893

Radiolites abraensis Coogan, 1973

4. **Requiénidos**

Requienia sp. Matheron, 1843

Toucasia texana Roemer, 1852

11.6. - ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO

Los análisis bioestadísticos se llevaron a cabo en 3 lugares distintos, que corresponden a puntos de muestreo del desarrollo facial MADP35, MADP36 Y MADP37. Se presentan 2 cuadros de muestreos en cada uno de ellos, por lo que serán llamados convenientemente: 35A (cuadro de muestreo ubicado en el techo del estrato), 35B (cuadro de muestreo ubicado en la base del estrato), 36A (cuadro de muestreo ubicado en la base del estrato), 36B (cuadro de muestreo ubicado en la base del estrato), 37A (cuadro de muestreo ubicado en el techo del estrato), 37B (cuadro de muestreo ubicado en la base del estrato). El análisis se realizó con tablas y gráficas de Microsoft Excel '97.

11.6.1. - ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

M = Media de las distancias
observadas.

r = Distancia entre individuos
con su vecino más cercano.

n = Número de medidas.

CUADROS	Σr	n	M
35A			
RUDISTAS	15.7	14	1.12
GASTEROPODOS	18.1	14	1.29
CORAL	5.7	5	1.14
35B			
RUDISTAS	4.9	12	0.4
GASTEROPODOS	0	1	0
CORAL	0	1	0
36A			
RUDISTAS	8.9	19	0.46
GASTEROPODOS	36.6	6	6.1
36B			
RUDISTAS	4.2	13	0.32
GASTEROPODOS	22.2	1	22.2
OSTREIDOS	0	1	0
EQUINODERMOS	35	3	11.6
37A			
RUDISTAS	19.7	17	1.15
GASTEROPODOS	16.8	9	1.86
OSTREIDOS	8.8	3	2.93
CORAL	0	1	0
37B			
RUDISTAS	16.2	47	0.34
GASTEROPODOS	38.9	24	1.62

Tabla 4 - Distancias Medias por cuadro.
(Cap. 3, No. 3-E).

CUADROS	Σr	n	M
35A	39.5	33	1.19
35B	4.9	14	0.35
36A	45.5	25	1.82
36B	61.4	18	3.41
37A	45.3	30	1.51
37B	55.1	71	0.77

Tabla 5 - Distancias Medias por grupos.
(Cap. 3, No. 3-E).

En la gráfica 51 se puede ver que existe mayor grado de dispersión en la columna 36B y que hacia ambos extremos aumenta gradualmente la acumulación de organismos fósiles, en tanto que el cuadro 35B muestra una mayor concentración de organismos (Figura 37 y Tabla 6).

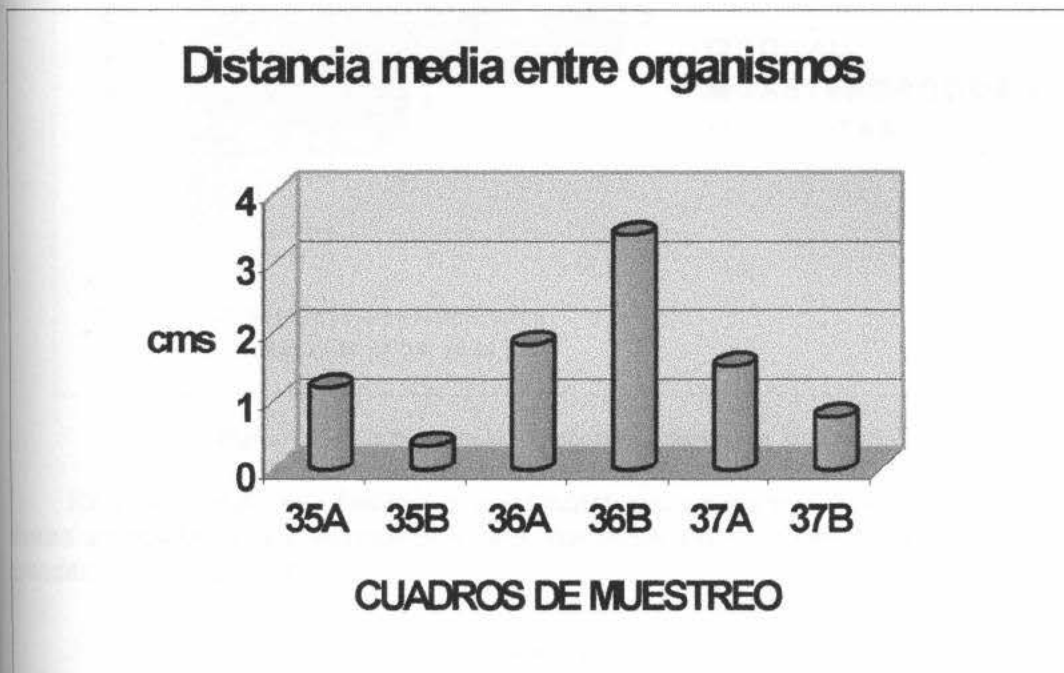


Figura 37 - Gráfica de Dispersión general por cuadro de muestreo.

En el cuadro de muestreo 35A se puede apreciar un mayor agrupamiento de rudistas y corales además de gasterópodos dispersos.

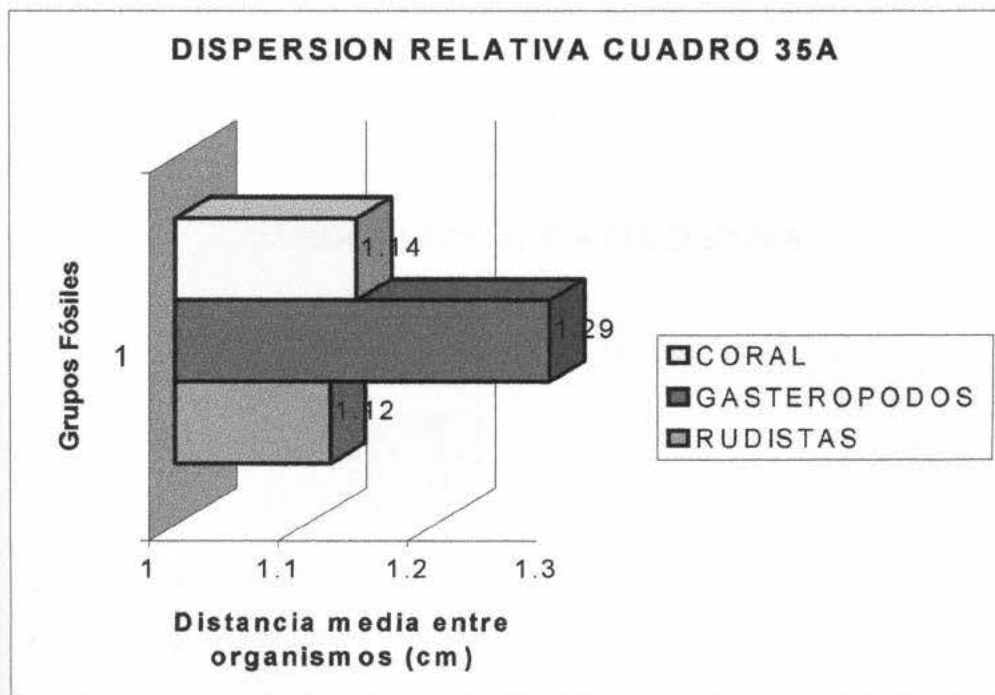


Figura 38 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 35A.

En este grupo se observa que aunque muy escasos, los gasterópodos y corales se encuentran agrupados, los rudistas en cambio, son mucho más abundantes (Figura 39).

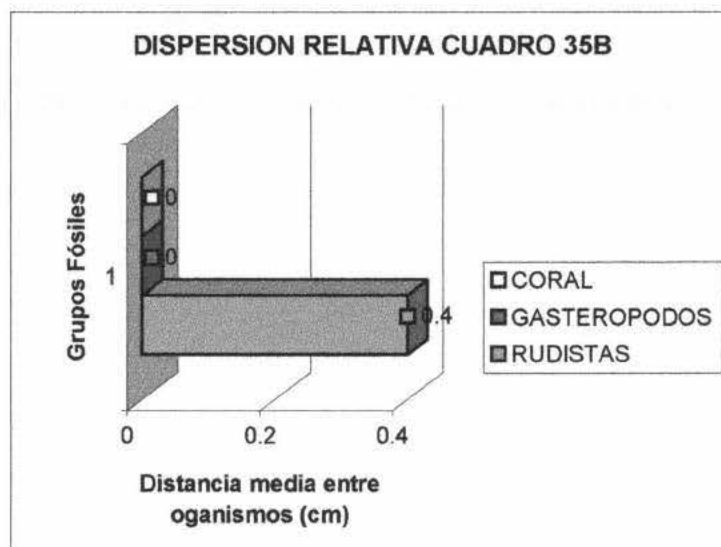


Figura 39 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 35B

En este grupo se encuentra una gran cantidad de rudistas con algunos gasterópodos dispersos (Figura 40).

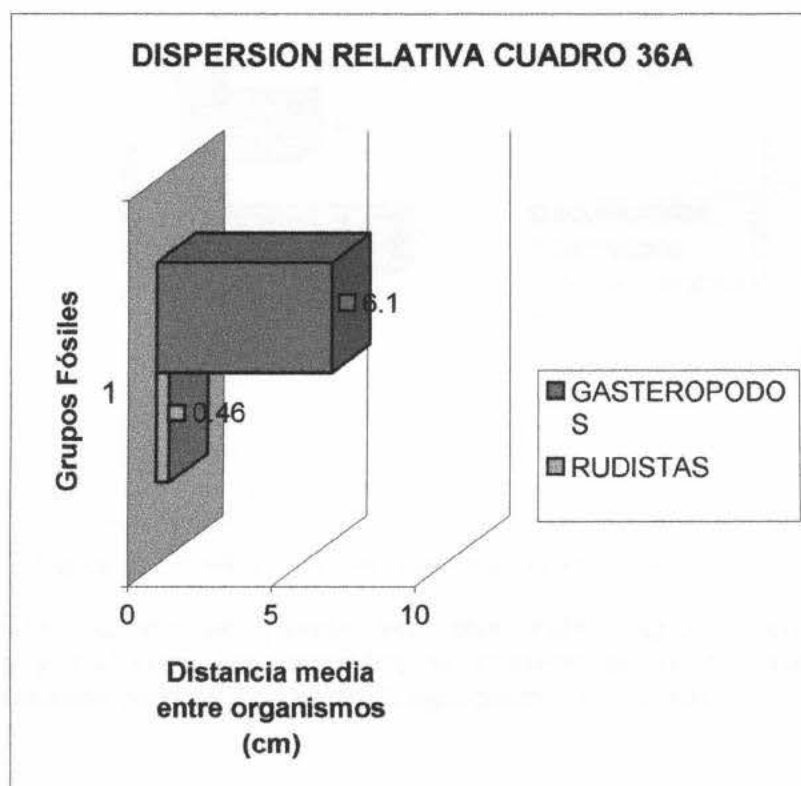


Figura 40 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 36A

Aquí se puede observar que los ostreidos son muy escasos, sin embargo, se encuentran agrupados. Los rudistas se encuentran distribuidos uniformemente y son el grupo predominante. En cuanto a los gasterópodos y equinoideos estos se encuentran en bajo número y se encuentran distribuidos en forma dispersa (Figura 41).

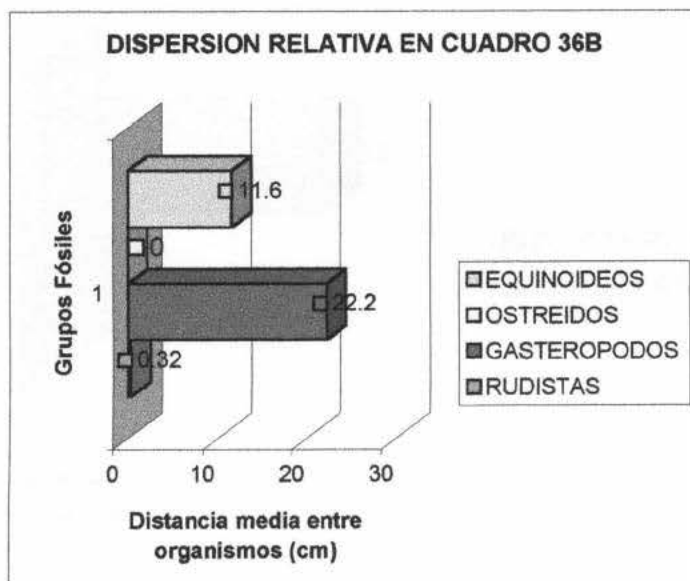


Figura 41 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 36B

En este cuadro se puede ver que existe gran abundancia de gasterópodos y rudistas, los ostreidos se encuentran más dispersos y los corales son escasos pero se encuentran agrupado (Figura 42).

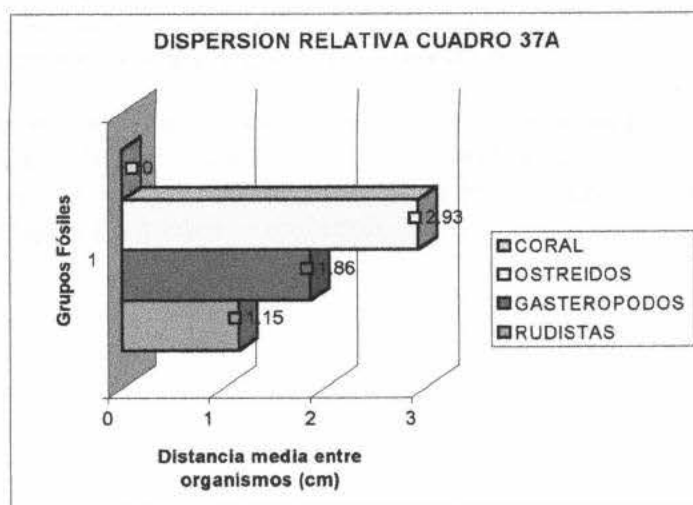


Figura 42 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 37A

En este cuadro los rudistas se encuentran distribuidos homogéneamente con gasterópodos dispersos en forma regular (Figura 43).

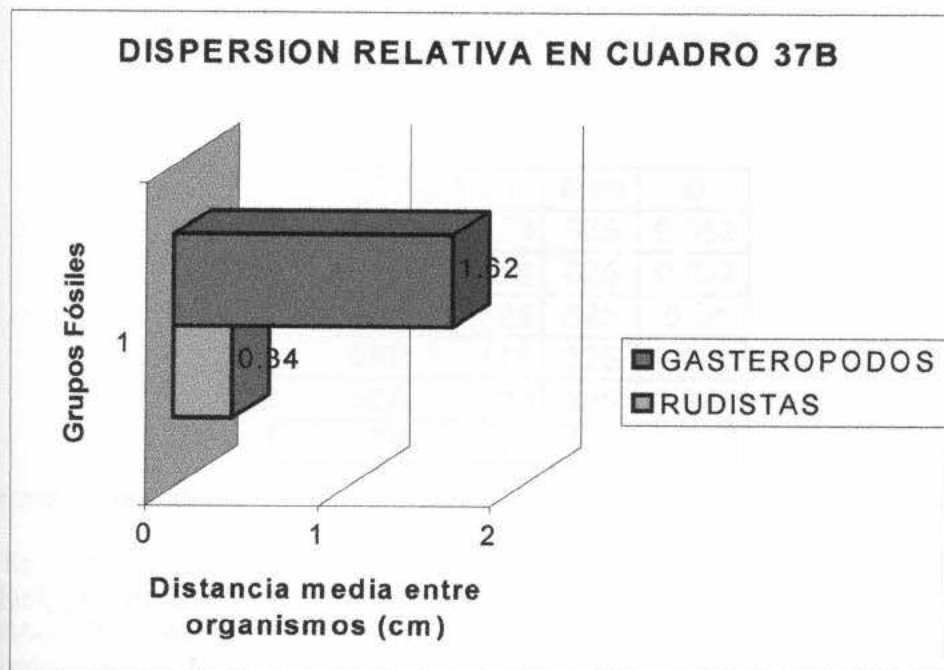


Figura 43 - Gráfica de la Dispersión relativa en el bloque 37B

Conclusión

Las zonas con una dispersión menor de organismos son los cuadros 35B y 37B, mientras que en el cuadro 36B es donde existían organismos más dispersos. Esto indica que las zonas de muestreo formaban una barrera continua pero, además existían pináculos arrecifales.

El grupo más disperso es el de los gasterópodos, seguido por el de los equinoideos (cuadro 36B) y ostreidos, los corales y rudistas tienen una dispersión baja, pues se encuentran casi siempre agrupados, aunque los corales forman grupos pequeños y aislados.

11.6.2. - ANÁLISIS DE DENSIDAD

Tabla 6 - Resultados del Análisis de
Densidad. (Cap. 3, No. 3-E).

CUADROS	n	área	D
35A	33	625	0.052
35B	14	625	0.022
36A	25	625	0.04
36B	18	625	0.028
37A	30	625	0.048
37B	71	625	0.113

D = Densidad de individuos en cada cuadrante (cm^2).

En esta gráfica se observa que existe una mayor concentración de individuos por área en el cuadro de muestreo 37B, seguido de los cuadros 35A, 36A y 37A. Los cuadros 35B y 36B presentan la más baja concentración de individuos por área (Figura 44 y Tabla 5).

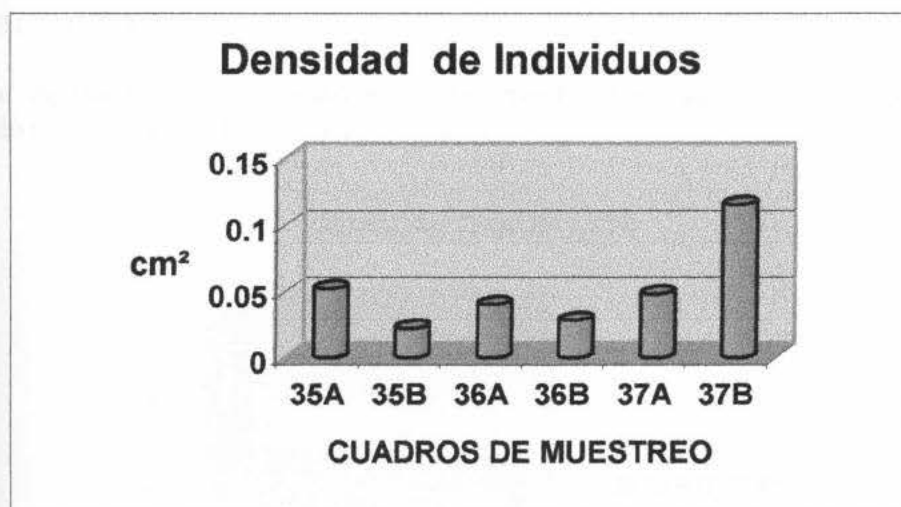


Figura 44 - Gráfica de la Densidad de individuos por cuadro de muestreo.

CUADRO 35A

Se observa que la densidad de rudistas y gasterópodos es la misma (.022) por cm^2 , mientras que la de corales es casi tres veces menor (2.75 veces) (Figura 45).

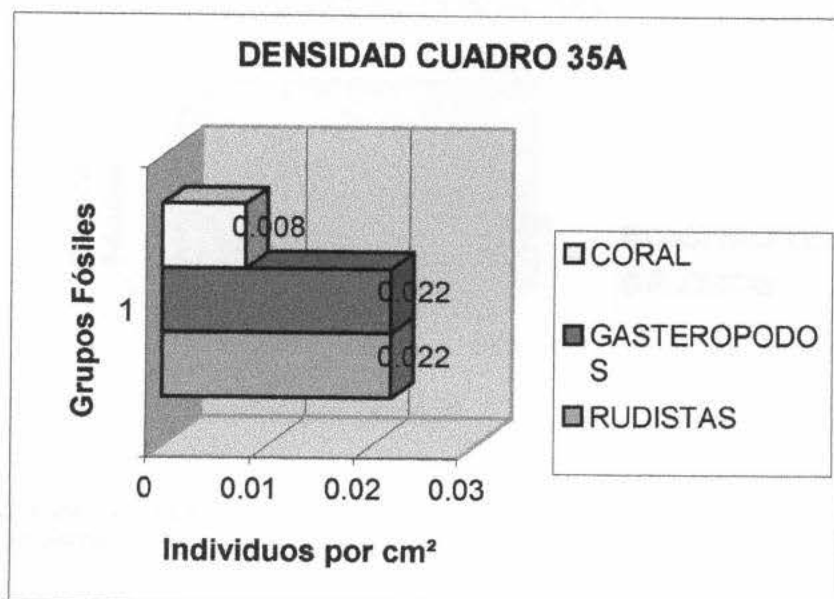


Figura 45 - Gráfica de la densidad de individuos en el cuadro de muestreo 35A.

CUADRO 35B

La densidad de rudistas en este cuadro es casi 20% mayor que el contenido de gasterópodos y corales (Figura 46).

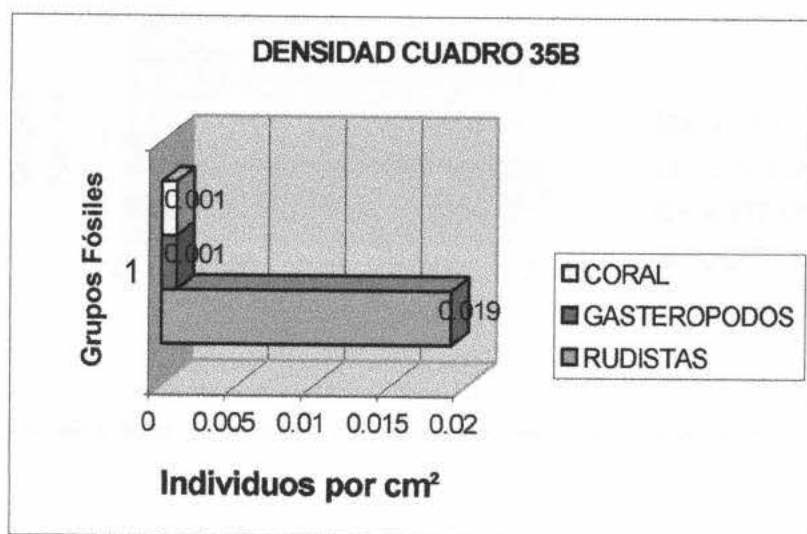


Figura 46 - Gráfica de la concentración de individuos por área en el cuadro de muestreo 35B.

CUADRO 36A

La densidad de rudistas en este cuadro supera más de 3 veces a la de gasterópodos (Figura 47).

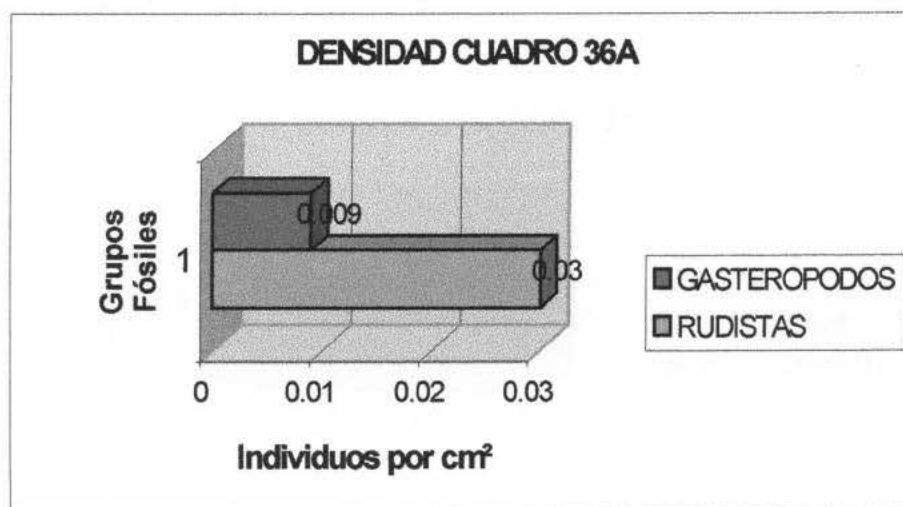


Figura 47 - Gráfica de la concentración de individuos por área en el cuadro de muestreo 36A.

CUADRO 36B

En este cuadro la mayor densidad está ocupada por los rudistas, los gasterópodos y ostreidos ocupan una 20^{va.} parte de esta densidad y los equinoideos una 5^{ta.} parte (Figura 48).

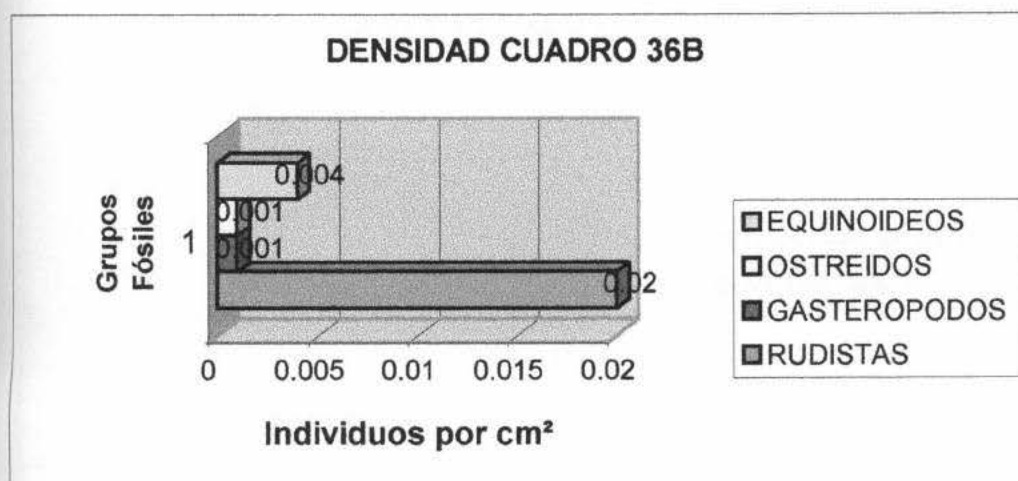


Figura 48 - Gráfica de la densidad de individuos por cm² en el cuadro de muestreo 36B.

CUADRO 37A

Los rudistas son los que ocupan la mayor densidad, seguidos por los gasterópodos, los ostreidos y corales son escasos, siendo los corales cuatro veces más escasos que los ostreidos (Figura 49).

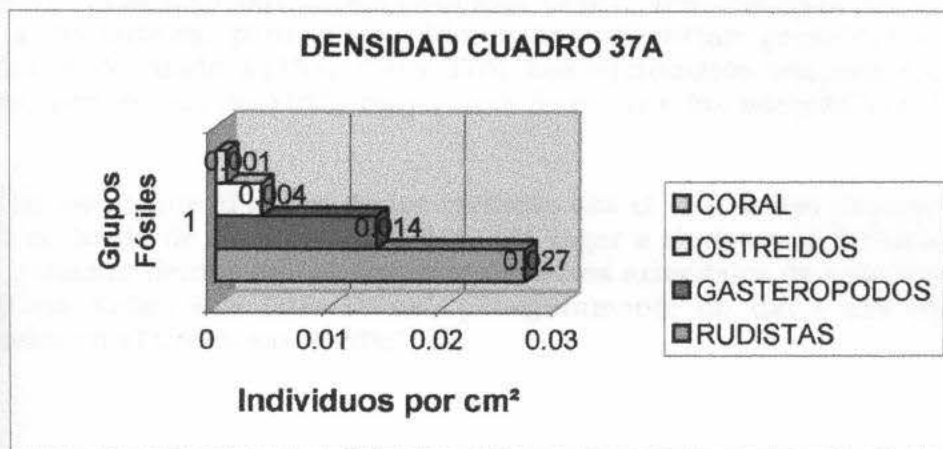


Figura 49 - Gráfica de la densidad de individuos por cm² en el cuadro de muestreo 37A.

CUADRO 37B

La densidad que ocupan los rudistas en este cuadro de muestreo es dos veces mayor que la ocupada por los gasterópodos (Figura 50).

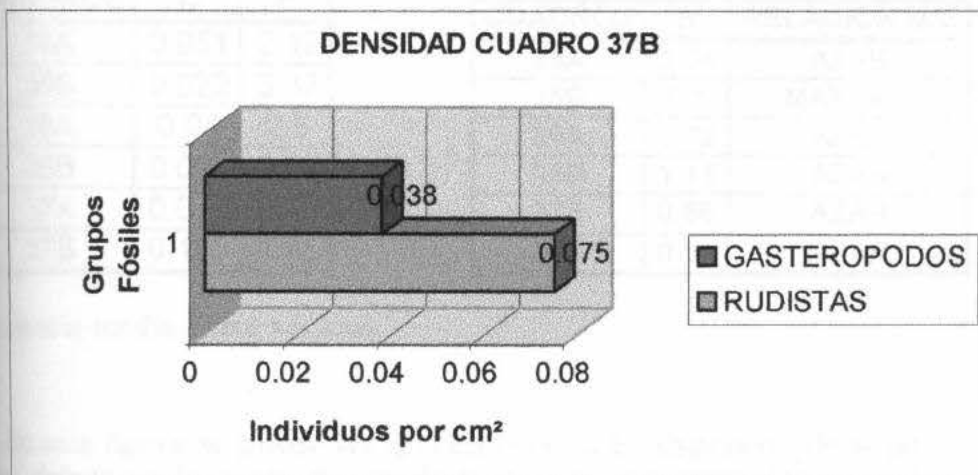


Figura 50 - Gráfica de concentración de individuos por cm² en el cuadro de muestreo 37B.

Conclusión.

La población con la mayor densidad en todos los cuadros de muestreo corresponde a los rudistas especialmente en el cuadro 37B (.075), seguida por los gasterópodos, especialmente en los cuadros 35A y 37A (.022 y .014 respectivamente), estos son los únicos dos grupos que se encuentran presentes en todos los bloques, los ostreidos tienen una densidad mayor con respecto a los corales, pero estos últimos se encuentran presentes en un mayor número de cuadros (35A, 35B y 37A). Los equinoideos son más escasos (.004), pero tienen una densidad mayor con respecto a los ostreidos (.001) en general.

El hecho de que el grupo de los rudistas sea el más denso dentro de la población de borde de plataforma, indica sin lugar a dudas que formaban el principal armazón dentro de las bioconstrucciones arrecifales de esta zona de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, y seguramente de todos los bancos carbonatados en el Cretácico "Medio".

11.6.3. - ANÁLISIS DE DISTANCIA MEDIA

Tabla 7 - Resultados del
Análisis de Distancia Media

CUADROS	D	E
35A	0.051	2.19
35B	0.022	3.37
36A	0.04	2.5
36B	0.028	2.98
37A	0.048	2.28
37B	0.113	1.48

Tabla 8 - Relación Media
Real/Media Esperada

CUADROS	R	RELACION M/E
35A	0.54	AZAR
35B	0.1	MAX. AG.
36A	0.72	AZAR
36B	1.14	AZAR
37A	0.66	AZAR
37B	0.52	AZAR

E = Distancia media entre vecinos.

En esta figura se puede ver que en general la dispersión de la población está por debajo de lo esperado, es decir, que la concentración de individuos fósiles es muy elevada, donde seguramente influye el tamaño de los rudistas, grupo predominante y de gran tamaño (Figuras 42, 45 y 65).

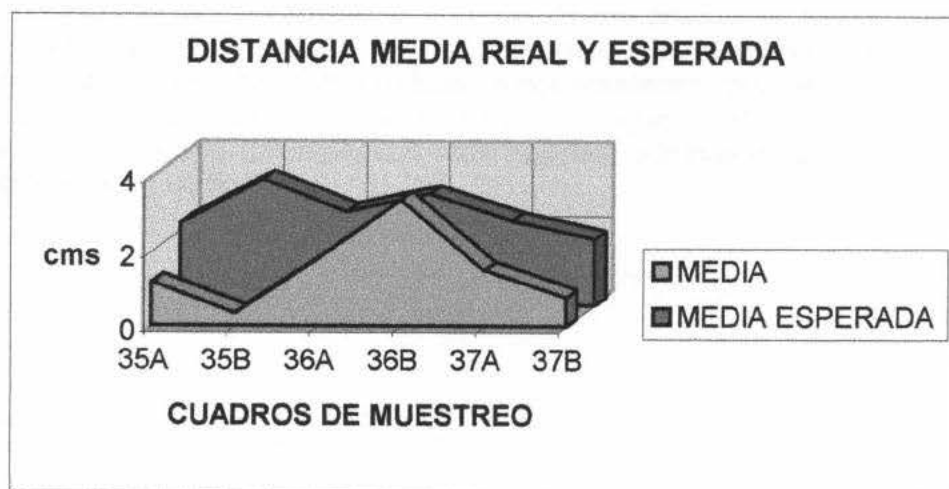


Figura 51 - Gráfica de la distancia media entre individuos real y esperada.

11.6.4. - ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN

Tabla 9 - Resultados del Análisis de
Distribución. (Cap. 3, No. 3-E).

CUADROS	M	E	R
35A	1.19	2.19	0.54
35B	0.35	3.37	0.1
36A	1.82	2.5	0.72
36B	3.41	2.98	1.14
37A	1.51	2.28	0.66
37B	0.77	1.48	0.52

R = Medida en que las distancias observadas se alejan del azar.

Por medio de la relación definida entre los valores de la distancia media real entre individuos y la media esperada se puede calcular el grado en que las distancias medidas se acercan o alejan de la dispersión al azar (Figuras 46 y 47).

De acuerdo con los valores obtenidos se tiene que la mayoría de los cuadros de muestreo con excepción del 35B presentan una distribución al azar. El cuadro 35B presenta una agregación máxima, esto es, que los fósiles se encuentran concentrados en un mismo punto. Esto se puede reafirmar en el cuadro de densidad en el que se observa que los rudistas se encuentran dominando completamente tanto en tamaño como en número a los grupos de gasterópodos y corales presentes en el mismo.

11.6.5. - ANÁLISIS DE DIVERSIDAD Y FRECUENCIA DE ESPECIES

Tabla 10 - Diversidad (Di) y Frecuencia de especies en cuadros de muestreo (Fr: rudistas, Fg: gasterópodos, Fc: corales, Fe: equinoideos y Fo: ostreidos).

CUADROS	DI	Fr	Fg	Fc	Fe	Fo
35A	3	14	14	5	0	0
35B	3	12	1	1	0	0
36A	3	19	5	1	0	0
36B	4	13	1	1	3	0
37A	4	17	9	1	0	3
37B	2	47	24	0	0	0

Tabla 11 - El Índice Evenness sirve para comparar dos muestras en cuanto a diversidad y frecuencia.

CUADROS	ÍNDICE EVENNESS				
	RUDISTAS	GASTEROPODOS	CORALES	EQUINODERMOS	OSTREIDOS
35A	0.331	0.331	0.26		
35B	0.12	0.171	0.171		
36A	0.189	0.292	0.117		
36B	0.169	0.115		0.215	0.115
37A	0.232	0.26	0.037		0.166
37B	0.393	0.528			

- **Cuadro 35A** - La mayor frecuencia la tienen los grupos de rudistas y gasterópodos, los corales presentan cerca del 30% de esta cantidad, los equinoideos y ostreidos se encuentran ausentes (Figura 53).
- **Cuadro 35B** - En la Figura 54 se ve que los rudistas presentan una mayor frecuencia, mientras que los gasterópodos y corales se encuentran en una proporción menor al 10%. Los equinoideos y ostreidos se encuentran ausentes en este bloque.
- **Cuadro 36A** - La Figura 55 muestra que los rudistas al igual que en las gráficas anteriores presentan la frecuencia más alta, los gasterópodos presentan cerca de un 25% de ésta, los corales se encuentran en una proporción del 5%, mientras que los equinoideos y ostreidos se encuentran ausentes).
- **Cuadro 36B** - La frecuencia más alta se encuentra en el grupo de los rudistas, seguida por la de equinoideos con casi un 25% de este valor. Los gasterópodos y los corales tienen menos del 10% con relación a los rudistas, mientras que los ostreidos están ausentes (Figura 56).
- **Cuadro 37A** - En la Figura 57 se puede ver que el grupo con la mayor frecuencia son los rudistas, después siguen los gasterópodos con el 50% de ésta. Los ostreidos tienen un 15% con relación a los rudistas, los corales tienen menos del 10% de frecuencia y los equinoideos se encuentran ausentes.
- **Cuadro 37B** - En este cuadro al igual que en todos los demás la mayor frecuencia la tiene el grupo de los rudistas, los gasterópodos tienen aproximadamente la mitad de ese valor y los demás grupos (corales, equinoideos y ostreidos) están ausentes (Figura 58).

Estos datos muestran que las bioconstrucciones de la localidad de El Madroño son predominantemente de rudistas, las que superan tanto en número como en densidad a los demás grupos, siendo los gasterópodos el segundo grupo más importante (Figura 52). La frecuencia de los corales es baja aunque constante en la mayoría de los cuadros (esto es por el desplazamiento competitivo que sufrieron por los rudistas durante el Cretácico), mientras que la presencia de ostreidos y equinoideos se da en forma ocasional (Tabla 10).

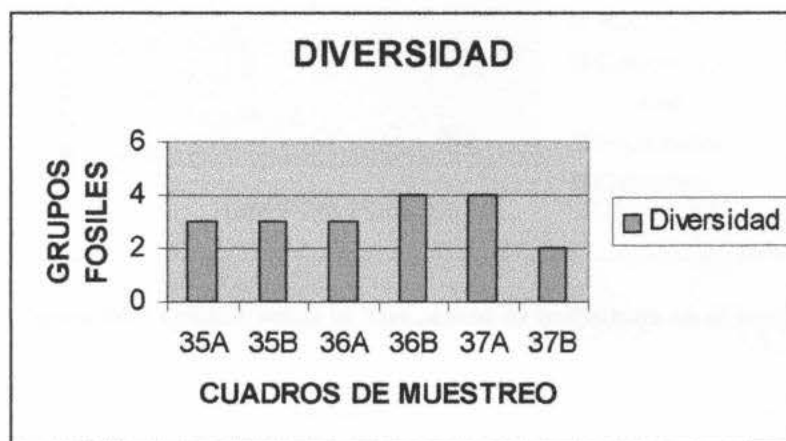


Figura 52 - Gráfica sobre la Diversidad de los grupos fósiles en los cuadros de muestreo.

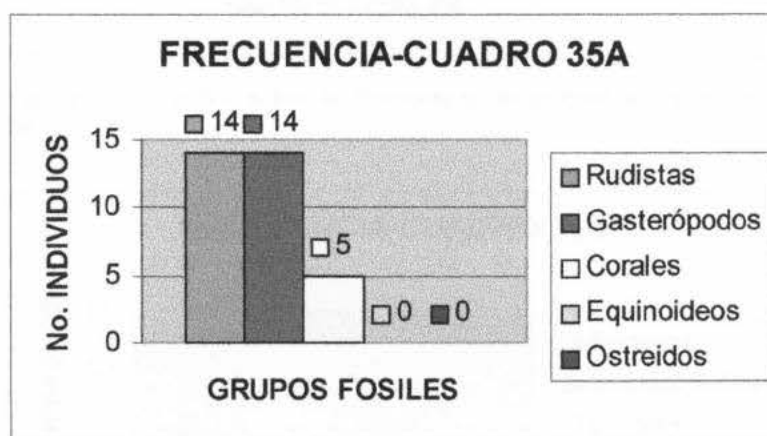


Figura 53 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el cuadro 35A.

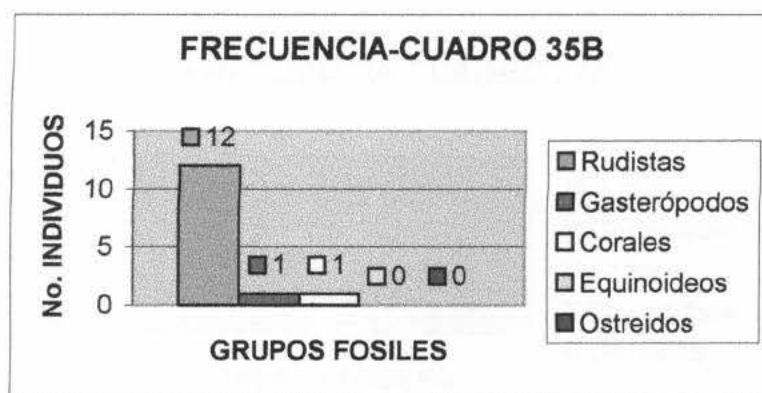


Figura 54 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el cuadro 35B.

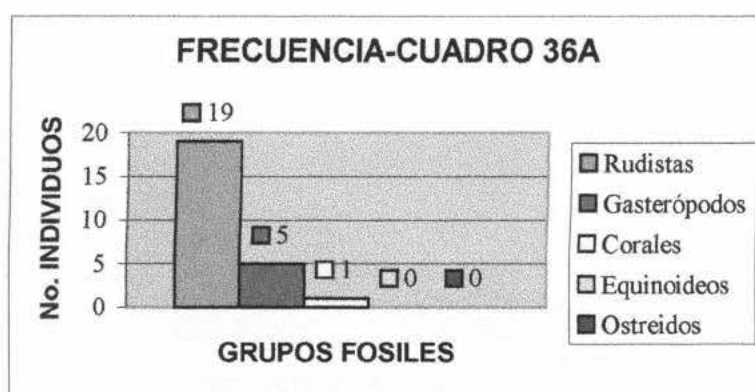


Figura 55 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el cuadro 36A.

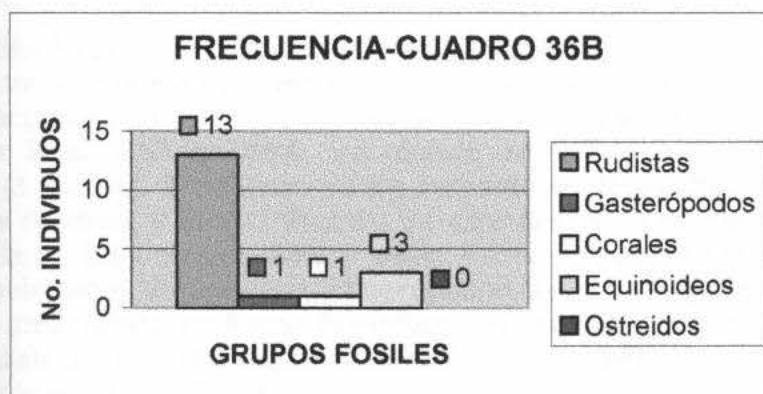


Figura 56 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el cuadro 36B.

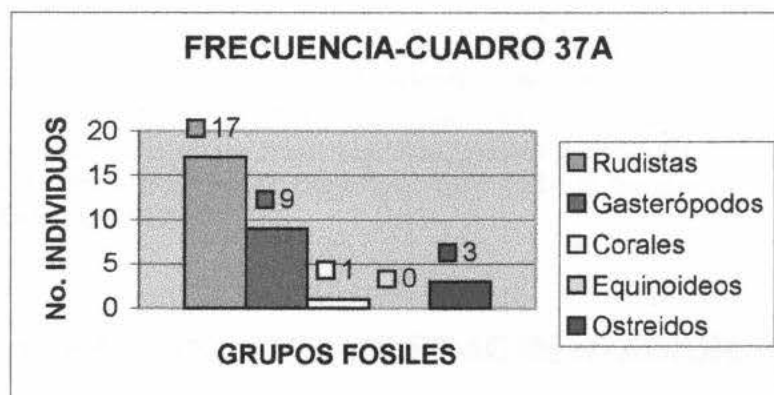


Figura 57 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el cuadro 37A.

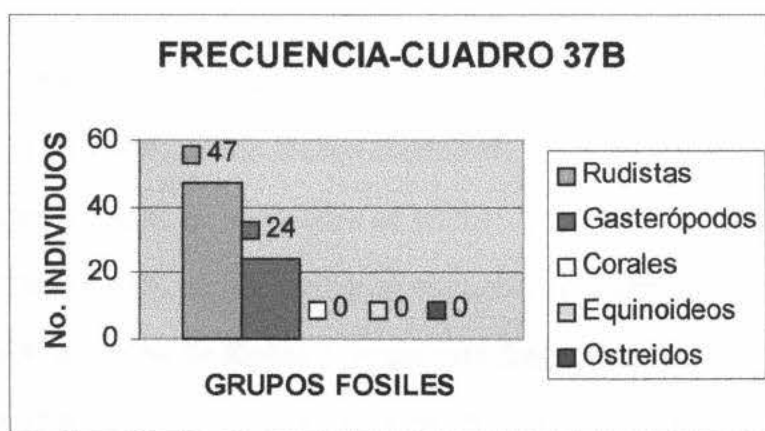


Figura 58 - Gráfica sobre la Frecuencia de individuos en el cuadro 37B.

El Índice Evenness (Tabla 11) permite comparar dos muestras para ver la variación entre la diversidad y frecuencia de dos especies (en este caso de grupos fósiles). De acuerdo con este análisis, se pudieron comparar los grupos fósiles en los cuadros **35A**, **35B** y **36A**, en donde existe la misma diversidad de organismos (3 grupos). En el caso de los rudistas se tienen frecuencias distintas para los tres cuadros, y la distribución de este grupo en el cuadro **35A** es muy diferente a la de los cuadros **35B** y **36A**. En el primero existe homogeneidad entre las poblaciones de rudistas-gasterópodos, mientras que en los otros dos, los rudistas predominan en forma importante sobre los otros grupos. Los corales tienen una distribución más importante en el cuadro **35B** que en el **36A** al tener una frecuencia igual a la de los gasterópodos.

En los cuadros **36B** y **37A** donde existe una mayor diversidad, la distribución de los cuatro grupos en cada uno es diferente. En el cuadro **36B** se tiene una dominancia importante de rudistas, mientras que en el **37A** hay una interacción, más importante entre por lo menos tres grupos distintos (rudistas, gasterópodos y ostreidos).

Conclusiones

De acuerdo con las etapas de sucesión ecológica (James, 1983), el ambiente bioconstruido de El Madroño se encontraba en etapa de diversificación. Esto implica diversidad de especies, que en este caso iba en aumento, casos de simbiosis (mutualismo, parasitismo, etc.) y posibilidades de control de la retroalimentación negativa, que reduce oscilaciones y aumenta la estabilidad (Odum, 1988).

11.6.6. - ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

En este trabajo se considera como fragmentación a los daños físicos que han sufrido los fósiles, incluyendo a individuos que se encuentran completamente divididos en varias partes como a los que sólo carecen de una fracción menor.

- **CUADRO 35A** - 80% de los fósiles completos.
- **CUADRO 35B** - 90% de los fósiles completos.
- **CUADRO 36A** - 85% de los fósiles se encuentran fragmentados.
- **CUADRO 36B** - 85% de los fósiles se encuentran fragmentados.
- **CUADRO 37A** - 25% de fósiles ligeramente fragmentados.
- **CUADRO 37B** - 25% de fósiles ligeramente fragmentados.
- **CUADRO 35A** - En este lugar se encontraron 80% de rudistas de la familia Radiolitidae y gasterópodos de talla grande (hasta 5 cm)* en muy buen estado, en general completos. Esto podría indicar que se encuentran "in situ" o en algún recodo del borde de plataforma, protegido del litoral de alta energía característico de estas facies y si han sufrido transporte, este ha sido sólo por una distancia corta.
- **CUADRO 35B** - En este cuadro se encontraron fósiles completos, en donde sobresale el grupo de los rudistas de la Familia Caprinidae por su gran tamaño. Estos como en el caso anterior se encontraban en un lugar protegido o sujetos a un transporte corto.
- **CUADRO 36A** - En esta muestra se encuentran los fósiles muy fragmentados. En este punto se puede afirmar con pocas probabilidades de equivocarse que los fósiles fueron transportados considerablemente o estaban sujetos al movimiento de las aguas en un ambiente de alta energía, formando montículos.

En general en la localidad de El Madroño el grupo de los gasterópodos corresponde a individuos fósiles de talla más bien pequeña (1-3 cm).

- **CUADRO 36B** - Muestra con fósiles de varios tipos bastante fragmentados. Al igual que en el cuadro anterior, es probable que estuvieran sujetos a condiciones de alta energía o transporte por una distancia considerable.
- **CUADRO 37A** - Los fósiles que se encuentran en este lugar presentan una fragmentación que consiste en ligeros daños en los bordes, sin romperse por completo. Posiblemente el grado de transporte fue menor al que muestran los dos grupos anteriores.
- **CUADRO 37B** - En este cuadro se observa mayor acumulación de fósiles que en el anterior. Al igual que el cuadro 37B, estos presentan una fragmentación que consiste en daños en bordes, capa externa u ornamentación (en bivalvos). Es posible que hallan sido transportados sólo por tramos cortos.

Conclusiones

El grado de fragmentación cambia en cada zona, siendo la zona más cercana al borde de plataforma la que posee los organismos completos, seguramente "in situ", una zona intermedia con acumulación bioclástica ocasionada por transporte debido a corrientes y oleaje y una tercera con acumulación bioclástica flanqueando seguramente una bioconstrucción en sitio de crecimiento.

11.6.7. - ANÁLISIS DE ORIENTACIÓN

Tabla 12 - Datos de Orientación (Rumbo con notación Clar).

CUADRO 35A		
RUDISTAS	GASTEROPODOS	
301°	338°	240°
393°	244°	249°
109°	24°	263°
149°	183°	316°
36°	228°	166°
278°	177°	228°
28°	246°	
113°	312°	

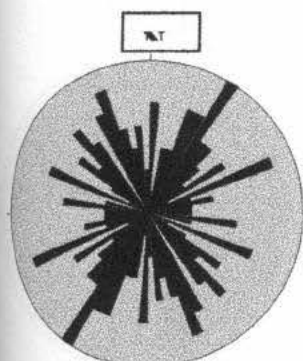
CUADRO 35B		
RUDISTAS	GASTEROPODOS	
23°	68°	119°
5°	349°	
90°	67°	
73°	77°	
24°		

CUADRO 36A		
RUDISTAS	GASTEROPODOS	
344°	308°	72°
335°	357°	7°
41°	131°	347°
33°	13°	54°
187°	351°	193°
313°		

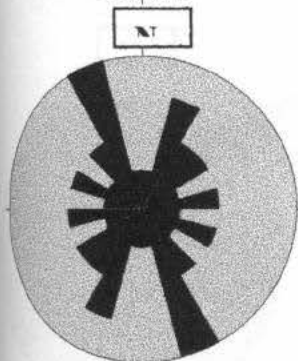
CUADRO 36B		
RUDISTAS	EQUINODERMOS	
49°	291°	113°
117°	149°	117°
41°	335°	
61°	243°	
52°	80°	
83°	155°	

CUADRO 37A				
RUDISTAS	OSTREIDOS	GASTEROPODOS		
302°	285°	42°	38°	156°
200°	155°	150°	36°	147°
281°	271°	24°	138°	35°
189°	182°		162°	140°
47°			119°	210°

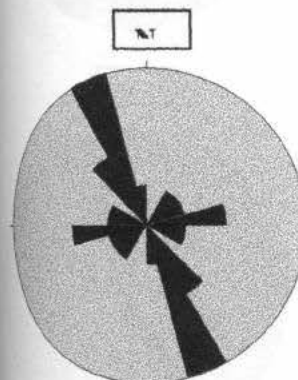
CUADRO 37B						
RUDISTAS	GASTEROPODOS					
134°	122°	108°	255°	53°	271°	307°
115°	301°	121°	291°	45°	102°	302°
301°	68°	85°	149°	90°	79°	
170°	142°	60°	91°	306°	251°	
		250°	80°	284°	234°	
		136°	85°	307°	65°	



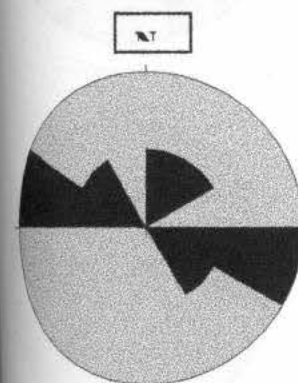
CUADRO GENERAL
N = 118 organismos
31° NE-SW



CUADRO GENERAL 35A
N = 22 organismos
157° NW-SE

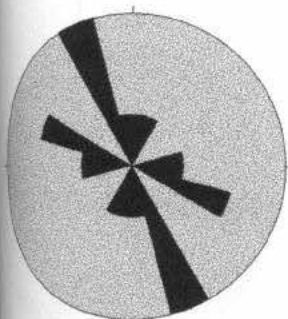


CUADRO 35A: Gasterópodos
N = 14 organismos
157° NW-SE



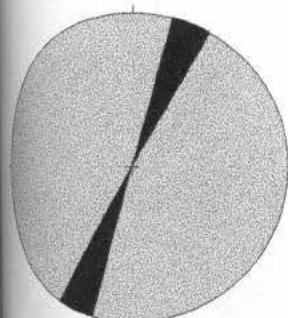
CUADRO 35A: Rudistas
N = 8 organismos
104° NE-SW

N



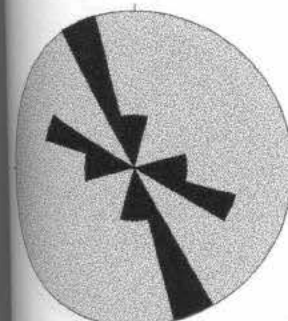
CUADRO GENERAL 35B
N = 10 organismos
157° NW-SE

N



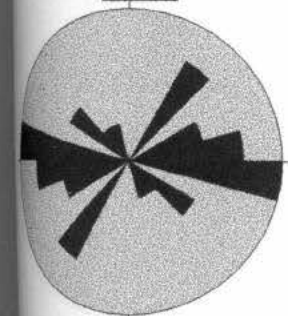
CUADRO 35B: Gasterópodos
N = 1 organismo
28° NE-SW

N

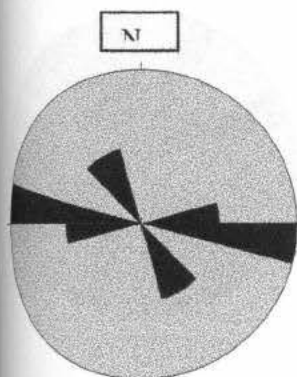


CUADRO 35B: Rudistas
N = 9 organismos
157° NW-SE

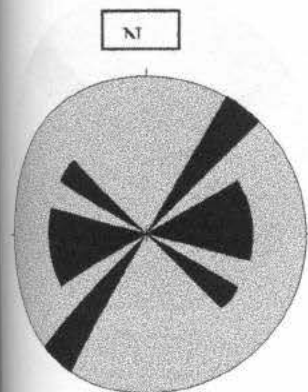
N



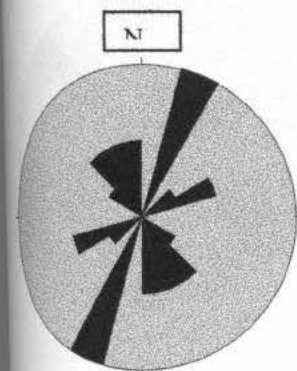
CUADRO GENERAL 36A
N = 16 organismos
96° NW-SE



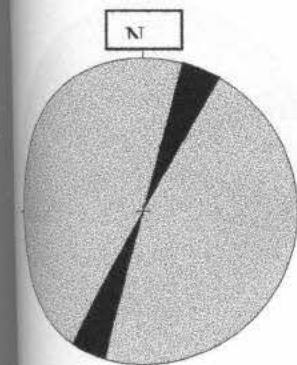
CUADRO 36A: Gasterópodos
N = 5 organismos
97° NW-SE



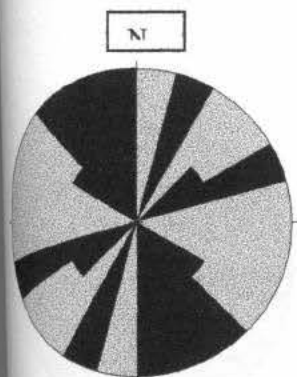
CUADRO 36A: Rudistas
N = 11 organismos
39° NE-SW



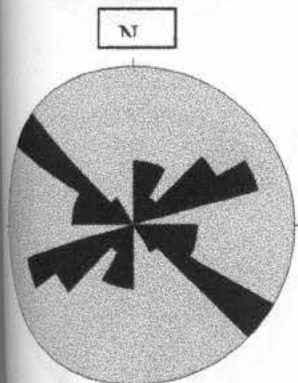
CUADRO GENERAL 36B
N = 14 organismos
22° NE-SW



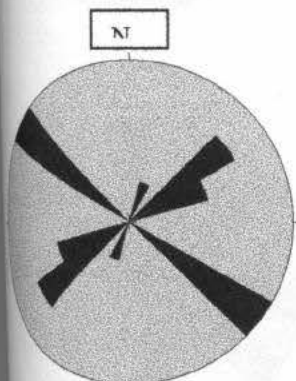
CUADRO 36B: Equinoideos
N = 2 organismos
23° NE-SW



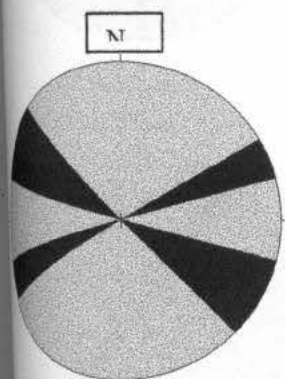
CUADRO 36B: Rudistas
N = 12 organismos
157° NW-SE



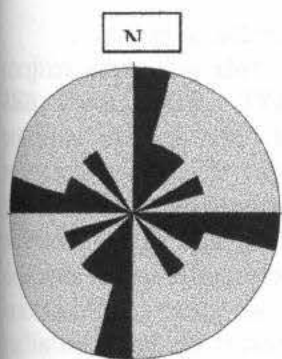
CUADRO GENERAL 37A
N = 22 organismos
126° NW-SE



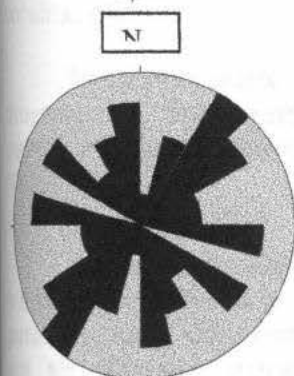
CUADRO 37A: Gasterópodos
N = 10 organismos
126° NW-SE



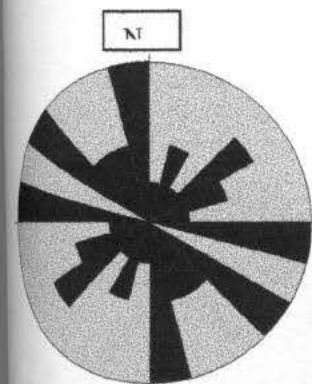
CUADRO 37A: Ostreidos
N = 3 organismos
120° NW-SE



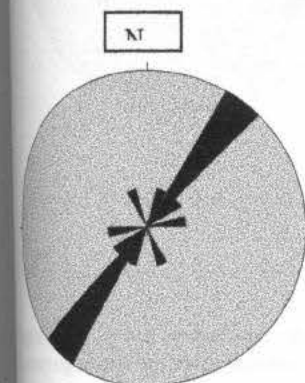
CUADRO 37A: Rudistas
N = 9 organismos
7° NE-SW, 98° NW-SE



CUADRO GENERAL 37B
N = 34 organismos
38° NE-SW



CUADRO 37B: Gasterópodos
N = 26 organismos
171°, 129°, 98° NW-SE



CUADRO 37B: Rudistas
N = 8 organismos
36° NE-SW

Conclusiones

Para el análisis de orientación se formó un cuadro general en el que se conjuntaron los datos obtenidos en los seis cuadros de muestreo (cuadros **35A**, **35B**, **36A**, **36B**, **37A**, y **37B**). En esta gráfica se analizaron las orientaciones predominantes de todos los organismos fósiles medidos en campo. Cabe mencionar que se realizaron mediciones de rudistas, principalmente caprínid y radiolíticos, gasterópodos, ostreidos y espinas de equinoideos, todos los que por su morfología alargada facilitaban la toma de datos. Debido al motivo anterior se dejaron fuera algunos grupos en los que debido a su forma no era fácil definir una orientación, este es el caso de las valvas izquierdas de todos los grupos de rudistas, los rudistas requiñidos completos, gasterópodos con forma globosa, corales, etc.

Posteriormente se analizaron las mediciones totales de cada cuadro de muestreo y finalmente se consideró por separado cada grupo fósil haciendo comparaciones posteriores con los que se encontraban en los demás cuadros (Tabla 12).

Los resultados del análisis muestran en cuanto a su orientación, dos tendencias: **SW-NE** y **SE-NW**. Los datos estadísticos muestran que no existe un paralelismo ni concentración en las mediciones de los organismos agrupados que sea significativa aunque hay orientaciones predominantes para determinados grupos fósiles (Siguiendo página).

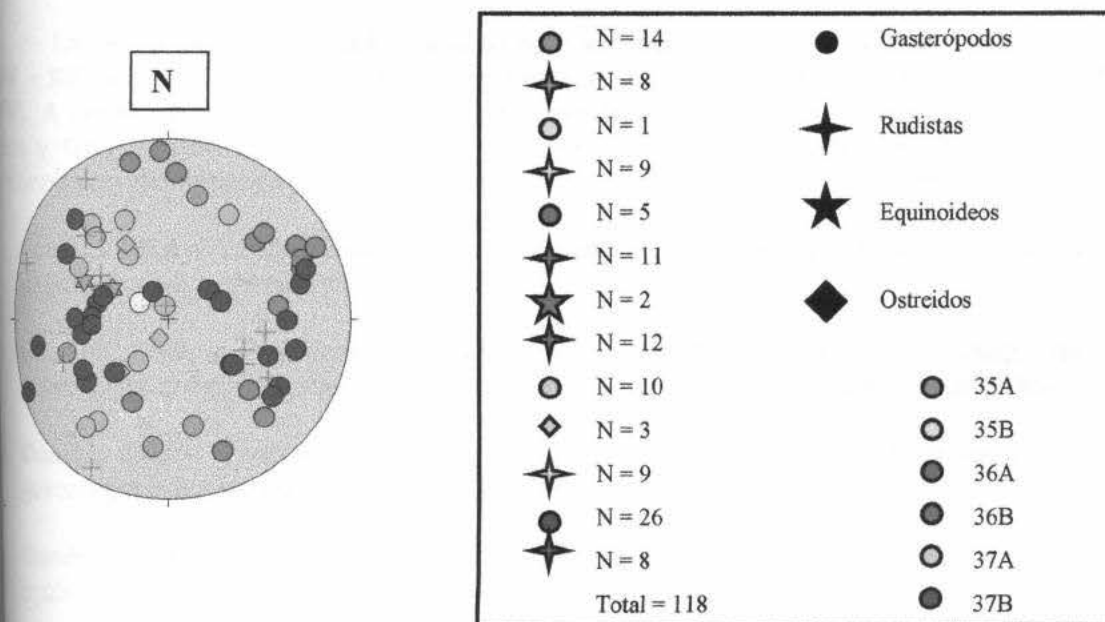


Figura 59 - Orientación de individuos fósiles, pertenecientes a los seis cuadros de muestreo. Stereograma en hemisferio inferior.

En la Figura 59 se puede observar que a pesar de que no se tiene una concentración definida de puntos en forma global, se puede ver que por grupos fósiles, sí existe una tendencia hacia ciertas zonas, lo que indicaría la presencia de corrientes aisladas. En general no existen evidencias de transporte excesivo.

La tendencia **SE - NW** (sureste-noroeste) se observa en el cuadro de muestreo 37A por el grupo de gasterópodos y ostreidos donde se registra más del 50% en el paralelismo de las mediciones y en el cuadro 37B por el grupo de gasterópodos.

La tendencia **SW - NE** (suroeste-noreste) se encuentra representada en el cuadro de muestreo 36B por el grupo de los rudistas en donde se observa un paralelismo de las mediciones de más de 50% y en el cuadro 37A para el grupo de los ostreidos*.

En cuanto a la orientación por grupo se tiene que los rudistas se encuentran presentes en todos los cuadros de muestreo, predominando en cuatro de ellos la tendencia **SW - NE** (35A, 36A, 36B y 37B) y en dos cuya tendencia es **SE - NW** (35B y 37A). Dentro de este grupo se encuentra un paralelismo mayor al 50% en cuatro de seis muestras (menos las dos últimas).

Los gasterópodos se encontraban dispuestos en cinco de los seis cuadros, registrando en cuatro de ellos una tendencia **SE - NW** (35A, 36A, 37A y 37B) y sólo uno con tendencia **SW - NE** (35B). En la mayoría de las mediciones se observó un paralelismo mayor al 50% (en cuatro de cinco).

Las espinas de equinoideos sólo se encontraron en un cuadro con tendencia **SW - NE**, al igual que los ostreidos pero con rumbo de tendencia contraria (**SE - NW**). A pesar de que los datos con equinoideos y ostreidos fueron muy escasos (dos y tres - cuadros 36B y 37A respectivamente) se puede mencionar que los equinoideos presentaron un paralelismo casi absoluto (98%) en el cuadro medido.

- **Cuadro 35A** - Predomina la dirección **SE-NW**, dada por el paralelismo de los gasterópodos presentes.
- **Cuadro 35B** - Predomina la dirección **SE-NW**, por el paralelismo de los rudistas presentes (principalmente los grupos de radiolitidos y caprinidos).
- **Cuadro 36A** - Predomina la tendencia **SE-NW**, dada por el paralelismo de los gasterópodos presentes en el cuadro de muestreo.
- **Cuadro 36B** - Predomina la dirección **SW - NE**, por la tendencia de los equinoideos y rudistas presentes en el cuadro.
- **Cuadro 37A** - Predomina la tendencia **SE-NW**, principalmente por el paralelismo de los gasterópodos (57%) presentes en el cuadro de muestreo.

* Este es el único grupo que presenta las dos orientaciones preferenciales en el mismo cuadro de muestreo.

- **Cuadro 37B** - Predomina la dirección **SW - NE**, dada por el grupo de rudistas presentes.

PARTE II: BANCO CALIZO EL DOCTOR

12. - LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se ubica en la parte centro-oriental del Estado de Querétaro, dentro del Municipio de Cadereyta de Montes, en el tramo intermedio entre Vizarrón de Montes y San Joaquín, Qro., cerca de la localidad de El Doctor, de donde toma su nombre.

Se encuentra enmarcada entre las coordenadas:

99° 43' 46" - 99° 46' 11" Long. W

20° 53' 3.6" - 20° 55' 4.9" Lat. N

El banco calizo El Doctor se localiza entre el km 2 y el km 17 de la Carretera Estatal, que va de Vizarrón a San Joaquín, Qro. y que entronca en su lado este con la Carretera Federal 120, que va de Amealco, Qro. a Cd. Valles, S.L.P.

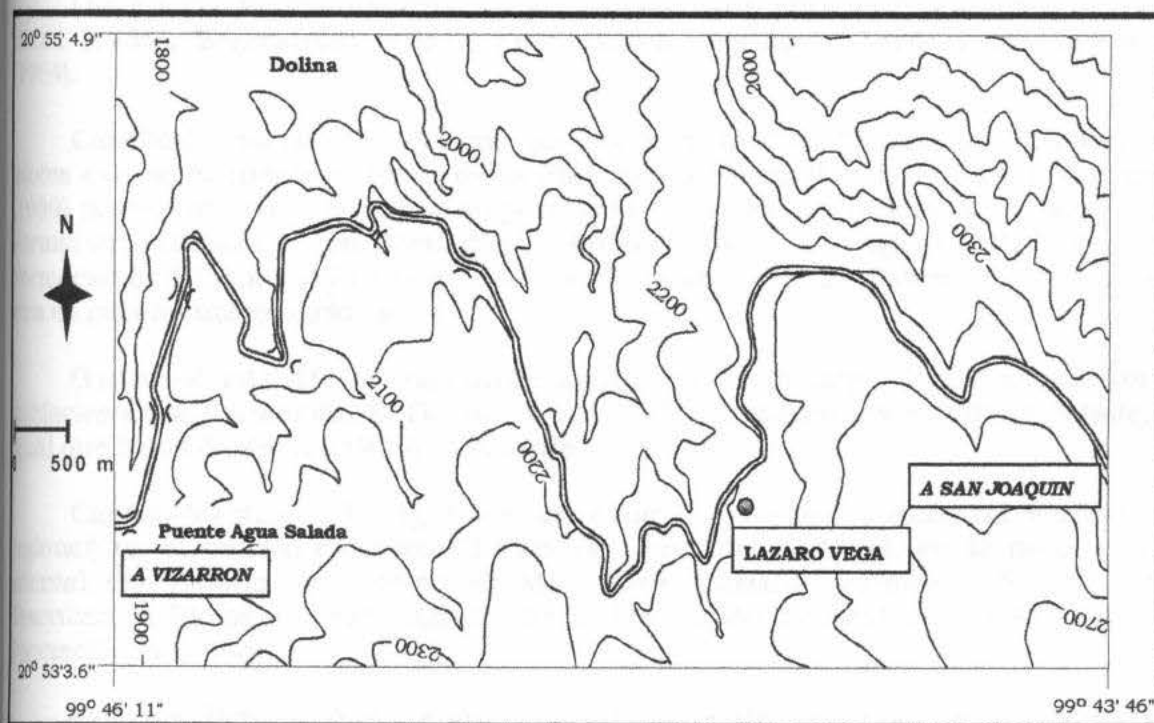


Figura 60 - Localización del área de El Doctor. Modificado de I.N.E.G.I., 1981, 1995.

Las poblaciones cercanas más importantes son Vizarrón, situada a 8 km al suroeste y San Joaquín a 15 km hacia el noreste (Figura 60). La zona estudiada se encuentra a 120 km por carretera de la ciudad de Querétaro.

13. - TRABAJOS PREVIOS

Imlay (1944), hace notar la equivalencia en edad entre las rocas de la Formación El Abra (Cd. Valles, S.L.P.) y rocas equivalentes en el área de Ixmiquilpan, Hgo. (ahora Formación El Doctor).

Wilson, Hernández y Meave (1955), estudiaron el complejo calizo El Doctor y describieron sus facies. Wilson propone el término de "Caliza El Doctor".

Simons & Mapes-Vazquez (1956), más tarde reportan las rocas de la Plataforma El Doctor, cabalgando sobre la Formación Soyatal.

Posteriormente Segerstrom (1961), describe la estratigrafía del área de Bernal-Jalpan, Querétaro y propone una edad para la Formación El Doctor de Albiano Inferior-Superior en su base y de Cenomaniano Inferior para su cima.

Fries (1962), sugiere la posibilidad de que la base de la Formación El Doctor sea del Aptiano.

Bonet (1963), hace resaltar la semejanza en litología, elementos faunísticos y paleoecología entre las facies de la Formación El Doctor y la Formación El Abra dando una edad a estas de Albiano-Cenomaniano.

Las Formaciones El Doctor y El Abra, han sido correlacionadas también por Bonet (1956), Segerstrom (1961), Fries (1962), Hermoso (1964) y De la Fuente (1964).

Carrillo-Bravo (1969), propone que los "arrecifes" de El Doctor y Tolimán son islotes que se encuentran fuera de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. Carrasco (1969) posteriormente estudia la importancia económico-petrolera de la base de la Formación El Doctor, en Metztitlán, Hidalgo. Además, sugiere (1970) que las Formaciones El Abra y El Doctor son una misma y que la distinción entre una y otra es puramente geográfica.

Gaytan-Rueda (1975), más tarde distinguen en un mapa detallado, las cuatro subfacies de la Formación El Doctor. Ward (1979), también las estudia a detalle, al igual que Enos & Moore (1983) más tarde.

Carrillo-Martínez (1981), hace un estudio geológico (geometría estructural regional) en el macizo calcáreo El Espolón-Cerro de El Angel, en la parte centro oriental del Estado de Querétaro. Más tarde Carrillo-Martínez y Suter (1982) describen la litología y estratigrafía de la Formación Soyatal que sobreyace a la Formación el Doctor.

Palacios-Nieto (1982), reporta un afloramiento pequeño de la Formación Soyatal, debajo de la Formación El Doctor.

Enos & Moore (1983) estudian el medio ambiente pre-arrecifal al este de la Formación El Doctor. Después Suter (1987), estudia la estratigrafía de las Plataformas El Doctor y Valles-San Luis Potosí y dice que el estilo de deformación

del cinturón plegado y cabalgado de la Sierra Madre Oriental está controlado principalmente por la geometría y litología de las plataformas antes mencionadas.

Carrillo-Martínez (1989), hace estudios estratigráficos y tectónicos en la parte centro-oriental del Estado de Querétaro. En 1997, estudia los aspectos estructurales a través de la Sierra Gorda entre Jalpan y Bernal, Querétaro, cruzando la cuenca de Zimapán flanqueada por las plataformas carbonatadas de El Doctor y Valles-San Luis Potosí.

14. - UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

14.1. - FORMACIÓN EL DOCTOR (*Wilson et al.*, 1955)

Banco calizo del Cretácico, de edad Albiano-Cenomaniano. Se distingue por numerosos y abruptos cambios de facies y espesor, presenta su mayor espesor hacia el oeste y suroeste. Se encuentra sobreyacida por la Formación Soyatal, el contacto parece ser concordante en algunos lugares y discordante en otros (Figura 7).

La caliza el Doctor fue dividida en cuatro facies diferentes (*Wilson et al.*, 1955). Estas facies forman fajas orientadas al NW y se denominan: La Negra, San Joaquín, El Socavón y Cerro Ladrón. (*Gaytan-Rueda*, 1975).

14.1.1. - FACIES LA NEGRA

Consiste de estratos de caliza de 10-20 cm de espesor, con pseudoestratos lenticulares de pedernal negro de entre 1-10 cm de espesor. Los estratos de caliza presentan laminación formada por material clástico de grano fino. Las intercalaciones de lutita roja son comunes. El espesor total no es mayor de 300 m. Esta facies es similar litológicamente a la caliza Cuesta del Cura (Albiano-Cenomaniano) del noreste de México. Se encuentra distribuida en una extensión mayor que las demás facies. Fue depositada en la parte profunda de la zona nerítica. Ocupa dos zonas orientadas al noroeste que siguen los límites NE y SW del distrito de El Doctor y se unen alrededor del extremo noroccidental de las otras dos facies.

14.1.2. - FACIES SAN JOAQUÍN

Es una caliza gris oscuro de estratificación gruesa y con abundantes nódulos y lentes de pedernal negro, su composición es en general semejante a la Facies La Negra y a la Formación Tamaulipas.

Se expone tan sólo en una faja de 1-2 km de anchura y está interdigitada con las Facies La Negra al noreste y la Facies El Socavón al suroeste. Representa sedimentos calcáreos depositados a menor profundidad, de manera que fueron afectados por el oleaje durante las tormentas. Esta facies es mencionada por Carrasco (1970) como tipo "Tamaulipas", y por Carrillo-Martínez (1981) como facies de cuenca.

14.1.3. - FACIES EL SOCAVÓN

Esta facies está restringida a una zona comprendida entre la Facies San Joaquín, al noreste, y la Facies Cerro Ladrón al suroeste. Esta zona de clásticos calizos se considera de 1-2 km de anchura, pero se extiende en forma de lengüetas angostas por varios kilómetros hacia el noreste.

Esta facies consiste principalmente de calcarenita de estratificación gruesa y conglomerado de grano fino, con cantidades considerables de coquina clástica. Sus condiciones de sedimentación quedan indicadas por la presencia de conglomerados calizos de grano grueso. Los bloques están compuestos de calcarenita, coquina, coquina clástica o caliza de grano fino; algunos están bien redondeados mientras que otros son tabulares. Los bloques tabulares cuya dimensión puede ser de 10-20 veces mayor que su dimensión menor, son tan delgados que su formación y conservación sólo puede explicarse por erosión y acarreo subacuático. Por sus características transicionales con los depósitos de cuenca, podría compararse a los de la Formación Tamabra (Carrillo-Martínez, 1981). Carrasco (1970) la describe como tipo "Tamaulipas" y la compara con la "mixed facies" de Heim (1940) y con la Formación Poza Rica de Bonet (1963).

14.1.4. - FACIES CERRO LADRÓN

Unidad litológica más conspicua de la caliza El Doctor, formada por una gran masa lenticular de caliza en forma de banco. Desde su extremo noroccidental, en el Río Extórax, se extiende por unos 50 km hacia el sureste, donde queda cubierta por rocas volcánicas del Cenozoico. La Facies Cerro Ladrón está limitada al noreste por la caliza clástica de la Facies El Socavón, y hacia el suroeste por la Facies La Negra; consiste en estratos delgados de caliza, alternados con lenticulos de pedernal negro. La anchura máxima de la faja es de 20 km y el espesor máximo de esta facies es de aproximadamente 1,500 m.

Estas facies son de estratificación gruesa en todas partes, su litología es variada y pueden dividirse en tres tipos o subfacies: una subfacies con rudistas, una subfacies de lodos calizos litificados y una subfacies de conglomerado de grano fino.

La subfacies con rudistas es semejante a la Facies Taninul de la Formación El Abra (Ward, 1979b), y se encuentra confinada a la periferia del banco y su espesor estratigráfico es menor que el de las otras subfacies. La diferencia con la Facies Taninul radica en que según Wilson, Hernández y Meave (1955), la subfacies de rudistas sí funcionó como barrera arrecifal, mientras que la facies de El Abra no. En este trabajo se toma la subfacies de rudistas como Facies Cerro Ladrón, la cual tiene similitud faunística con la facies arrecifal de la Formación El Abra.

La subfacies de lodos calizos litificados es la más potente del banco. Los fósiles de esta facies corresponden a gasterópodos (nerineidos), rudistas (requiénidos) y foraminíferos bentónicos (miliólidos). En este trabajo se toma esta subfacies como la Facies lagunar El Ángel*, la cual es muy parecida a la Facies El Abra de la Formación El Abra.

En la porción noreste o pre-arrecifal del banco, aparece entre la subfacies exterior con rudistas y la subfacies central de lodos calizos litificados, una zona de conglomerados calizos de grano fino interestratificados con caliza de grano fino, donde casi en ningún lugar tiene más de un kilómetro de anchura.

* Debido al cerro del mismo nombre que se encuentra dentro de la facies y que es fácilmente apreciable dentro del área.

Según Carrasco (1970), esta facies es equivalente a la Formación El Abra. Carrillo-Martínez (1981) la menciona como facies de plataforma, y Alencáster (1987) hace referencia a ella como la facies arrecifal en la localidad de El Madroño.

Actualmente en la Plataforma El Doctor, Ward (1979b) reconoce sólo un miembro formal, el Miembro Taninul, como lo definió Kellum (1930), al ser las calizas masivas con rudistas la única subunidad cartografiable dentro de la plataforma quien, además, en su tesis doctoral, delimita seis unidades estratigráficas informales.

14.2. - FORMACIÓN SOYATAL

Esta Formación en el área de El Doctor, presenta las mismas características descritas para la zona de El Madroño (Pág. 23).

15.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL BANCO CALIZO EL DOCTOR.

El banco calizo El Doctor fue definido por Wilson *et al.* en 1955, como parte del rasgo fisiográfico El Espolón - Cerro de El Angel, situado al centro-este del Estado de Querétaro formando parte de la Sierra Madre Oriental y su transición hacia el Cinturón Volcánico Mexicano (Figura 61).

La deformación ocurrió durante la Orogenia Laramídica desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Temprano. El patrón de unidades litoestratigráficas sedimentarias influenció la deformación y fracturamiento, producto del empuje horizontal ejercido. Las plataformas calizas masivas actuaron como contrafuertes o sostén, mientras que las calizas argiláceas menos competentes (Formación Soyatal) y las calizas de estratificación delgada (Fm. Cuesta del Cura) fueron severamente deformadas (Ward, 1979b).

La disposición estructural del banco calcáreo El Doctor ha sido interpretada de distintas maneras. Wilson *et al.* (1955) lo consideraron como una estructura plegada, mientras que geólogos de PEMEX (Petroleos Mexicanos), como un pliegue fallado, siendo el plegamiento de gran radio de curvatura y la falla inversa de alto ángulo. En la Hoja geológica publicada por CETENAL (Centro de estudios del Territorio Nacional) (1974), el macizo calcáreo de El Doctor se muestra como una cobijadura. Presenta un contacto anormal sobre la Formación Soyatal. Esto se observa al sur del Cerro El Angel, donde la facies de plataforma de la Formación El Doctor está en contacto con la Formación Soyatal. El pliegue apretado que se encuentra en la cobijadura, es único en todo el banco y está asociado a la falla (Carrillo-Martínez, 1981).

La Plataforma El Doctor, también revela la presencia de lineamientos que en los alrededores del Cerro El Angel, corresponden a fallas normales de desplazamiento decamétrico, provocando la inclinación de los estratos hacia el noreste (Carrillo-Martínez, 1981).

Cerca del poblado de El Doctor, existe un prominente escarpe, que marca la interfase entre las calizas masivas de la Formación El Doctor y las calizas contemporáneas de estratificación delgada de la Formación Cuesta del Cura o de las calizas argiláceas más jóvenes de la Formación Soyatal. Un escarpe similar marca el límite de la plataforma a lo largo de su contorno (Ward, 1979b).

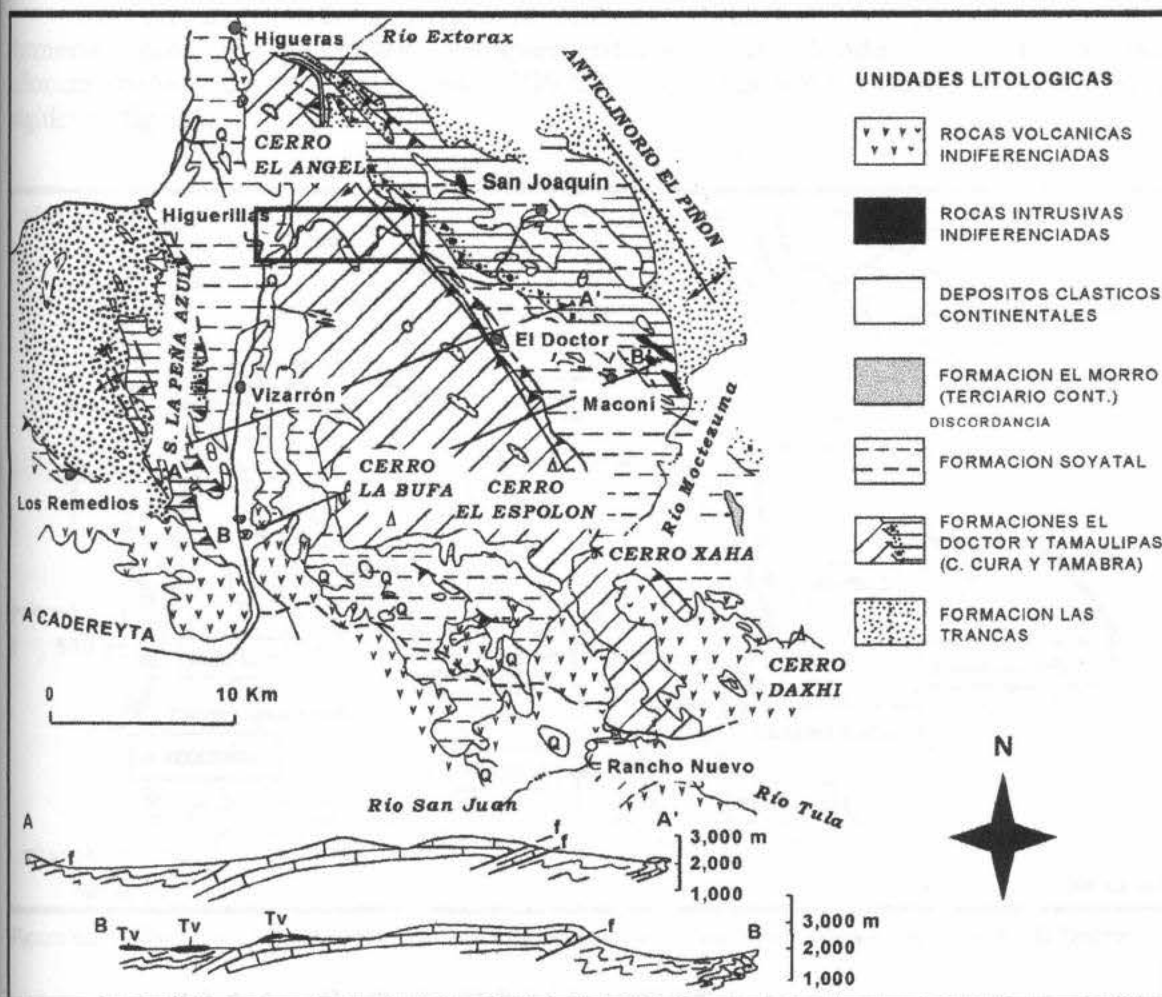


Figura 61 - Mapa geológico de la zona de El Doctor. Modificado de Carrillo-Martínez, 1981.

16. - RESULTADOS

16.1. - SECCIONES Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

En esta zona se levantó una sección estratigráfica (S. E.) local compuesta, formada por 9 secciones complementarias en donde existían buenos afloramientos, que en total suman 406.98 m de espesor y están señaladas en la siguiente figura.

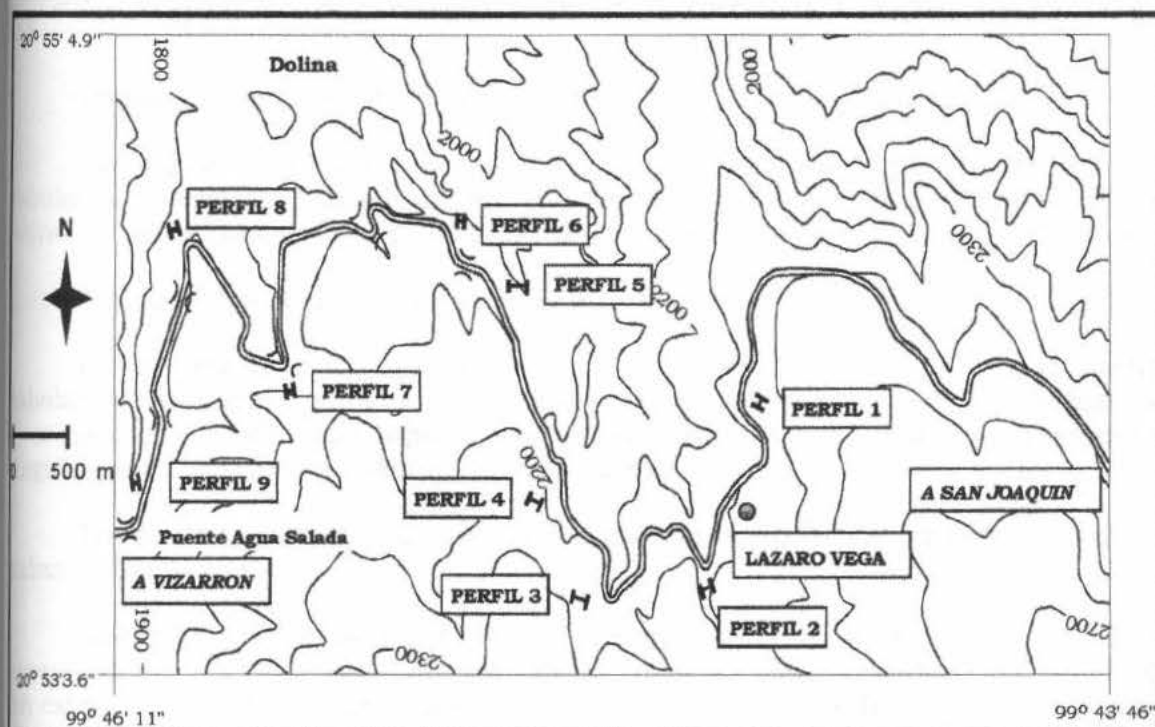


Figura 62 - Ubicación de las secciones estratigráficas parciales levantados en el área de El Doctor.

16.1.1. - S. E. TEPOZÁN (PERFIL 1)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria está situada cerca de la base del anticlinal El Angel al poniente del mismo, entre el kilómetro 12 y 13 de la Carretera Estatal que va de Vizarrón a San Joaquín, Qro., a una altura de 2,315 msnm. Las coordenadas de la sección son:

99° 40' 06" Long. W y 20° 53' 48" Lat. N

(Figuras 76 y 80).

Descripción

En esta sección de 29.28 m de espesor, se identifican de la base al techo sedimentos carbonatados cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 202°/68°. Esta sección tiene como infrayacente cubierto la Facies El Angel, de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 1.98 m de calizas grises laminadas.

Las calizas laminadas gris claro en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor masivo (2 m). Corresponden en la base a "packstone" de ooides, y en el techo a "grainstone" de peloides con laminación, fenestras, miliólidos y saccamínidos micritizados, algas codiáceas y rodofitas, *Dictyoconus walnutensis*, y valvas de ostrácodos. Presencia ocasional de gasterópodos (Figura 63).

Tramo 2: 4.9 m de calizas grises.

Las calizas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor masivo (3 m), que pertenecen a "packstone" peloidal, con valvas de ostrácodos, algas, miliólidos, *Dictyoconus walnutensis* y calcisferúlidos.

Tramo 3: 6.9 m de calizas grises laminadas.

Las calizas laminadas gris claro en corte fresco, presentan una geometría tabular y espesor mediano a masivo (.1-1.4 m). Esta muestra forma un "wackestone" peloidal con tapices algales, saccamínidos, miliólidos y fragmentos angulosos de ostreidos y "floatstone" de rudistas (requiénidos) ocasionales.

Tramo 4: 15.5 m de alternancia de calizas grises, calizas grises laminadas y calizas bioclásticas.

Las calizas gris oscuro en corte fresco, tienen una geometría tabular de espesor masivo (1.3 m), que corresponden a "mudstone-wackestone" bioclástico en un estrato único. Las calizas laminadas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (2.5 m), con laminación. Forman "mudstone" bioclástico con tapices algales y ocasionalmente "floatstone" de rudistas (requiénidos). Las calizas bioclásticas color gris oscuro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo y pertenecen a "wackestone" bioclástico con miliólidos (*Barkerina barkerensis*), peloides, cristales de dolomita, cuarzo y apatita, algas verde-azules incrustantes y placas de equinoideos, con "floatstone" esporádico de rudistas requénidos.



Figura 63 - Foto del Tramo 1 de calizas grises laminadas.

16.1.2. - S. E. LA VEGA (PERFIL 2)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada en el kilómetro 11 de la Carretera Estatal que va de Vizarrón a la localidad de San Joaquín, Qro., a una altura de 2,330 msnm. Se localiza en las coordenadas geográficas:

Base: 99° 40' 19" Long. W y 20° 50' 56" Lat. N

Techo: 99° 40' 21" Long. W y 20° 50' 55" Lat. N

(Figuras 76 y 80).

Descripción

En esta sección de 51.7 m de espesor, se identifican de la base al techo sedimentos carbonatados cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 247°/76°. Esta sección tiene como infrayacente cubierto la Facies El Angel de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 7.8 m de alternancia de calizas grises, calizas gris-pardo, y calizas gris oscuro.



Figura 64 - Foto del Tramo 2 de "floatstone" bioclástico. Escala 30 cm.

Las calizas grises en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (1-1.5 m), que corresponden a "mudstone-wackestone" bioclástico, con horizontes ocasionales de "floatstone" bioclástico. Las calizas gris-pardo en corte fresco, forman estratos tabulares de espesor mediano (1-6 m), con laminación en la base. Forman un "wackestone" bioclástico. Las calizas gris oscuro en corte fresco, se conforman por cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (1 m) y pertenecen a "wackestone" bioclástico.

Tramo 2: 42.3 m de alternancia de calizas grises laminadas y calizas bioclásticas.

Las calizas laminadas gris claro en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares plegados ($>90^\circ$), de espesor delgado a masivo (.08-1.6 m), que corresponden a "mudstone" laminado sin fósiles y en varios horizontes de "floatstone" de rudistas (Figura 64). Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco forman estratos tabulares de espesor masivo (1-2 m), con algunos pliegues de $>90^\circ$, que forman "floatstone" bioclástico con rudistas.

16.1.3. - S. E. CULEBRAS (PERFIL 3)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada en la parte media del área de estudio, en el kilómetro 9 de la Carretera Estatal que va de Vizarrón a San Joaquín, Qro., a una altura de 2,250 msnm. Se localiza en las coordenadas geográficas:

99° 40' 48" Long. W y 20° 53' 28" Lat. N

(Figuras 76 y 80).

Descripción

En esta sección de 41.5 m de espesor se identifican de la base al techo sedimentos carbonatados cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 283°/71°. Esta sección tiene como infrayacente cubierto la Facies El Angel de la Formación El Doctor. Los estratos están cubiertos por una capa horizontal de yeso.

Tramo 1: 10.6 m de calizas grises alternando con calizas bioclásticas.

Las calizas gris-verde en corte fresco, se encuentran formando cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso a masivo (.7-1.6 m). Corresponden a "mudstone" bioclástico. Las calizas bioclásticas gris-verde en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor masivo (1-1.6 m), que forman "floatstone" de rudistas requiñidos.

Tramo 2: 30.9 m de alternancia de calizas bioclásticas y calizas micríticas.

Las calizas bioclásticas gris-oscuro en corte fresco, presentan geometría tabular y espesor mediano a masivo (.2-1.4 m). Forman un "wackestone" bioclástico en la base, con "floatstone" de bivalvos en forma esporádica y en el techo, laminación intermedia con "floatstone" bioclástico, con cristales de cuarzo, miliólidos, fragmentos subangulosos de equinoideos y ostreidos. Las calizas micríticas grises en corte fresco, tienen una geometría tabular y un espesor de .2-.4 m, que corresponden a "wackestone-packstone" bioclástico.

Tramo 3: 11 m de tramo totalmente cubierto.

Tramo 4: 17.9 m de alternancia de calizas bioclásticas, calizas micríticas y calizas laminadas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, están formadas por cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.6 m), que corresponden a "floatstone" de rudistas y bivalvos y tapices de valvas. Las calizas micríticas gris-verde en corte fresco, se conforman en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.1 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico. Las calizas laminadas gris-pardo en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor grueso (.8 m), que pertenecen a "wackestone" bioclástico.

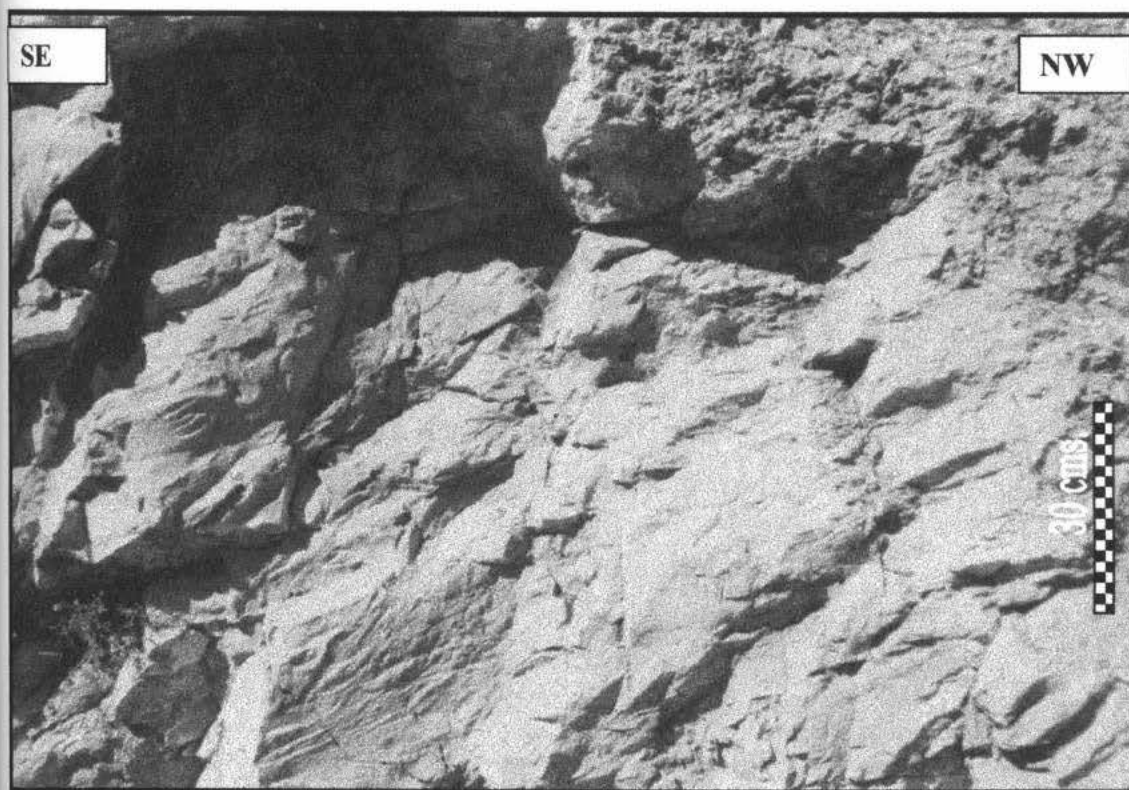


Figura 65 - Foto del Tramo 5 de calizas micríticas. Escala 30 cm.

Tramo 5: 12.4 m de calizas micríticas.

Las calizas micríticas en colores que van de gris a gris-verde en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.5-.9 m) que forman "wackestone" bioclástico (Figura 65).

Tramo 6: 7.2 m de alternancia de calizas bioclásticas y calizas laminadas.

Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.5-.8 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico con miliólidos y calcisferúlidos muy deformados y "floatstone" bioclástico con fragmentos de bivalvos y gasterópodos. Las calizas laminadas grises en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor grueso a masivo (.8-1.1 m) y forman "wackestone" bioclástico con laminación probablemente algal.

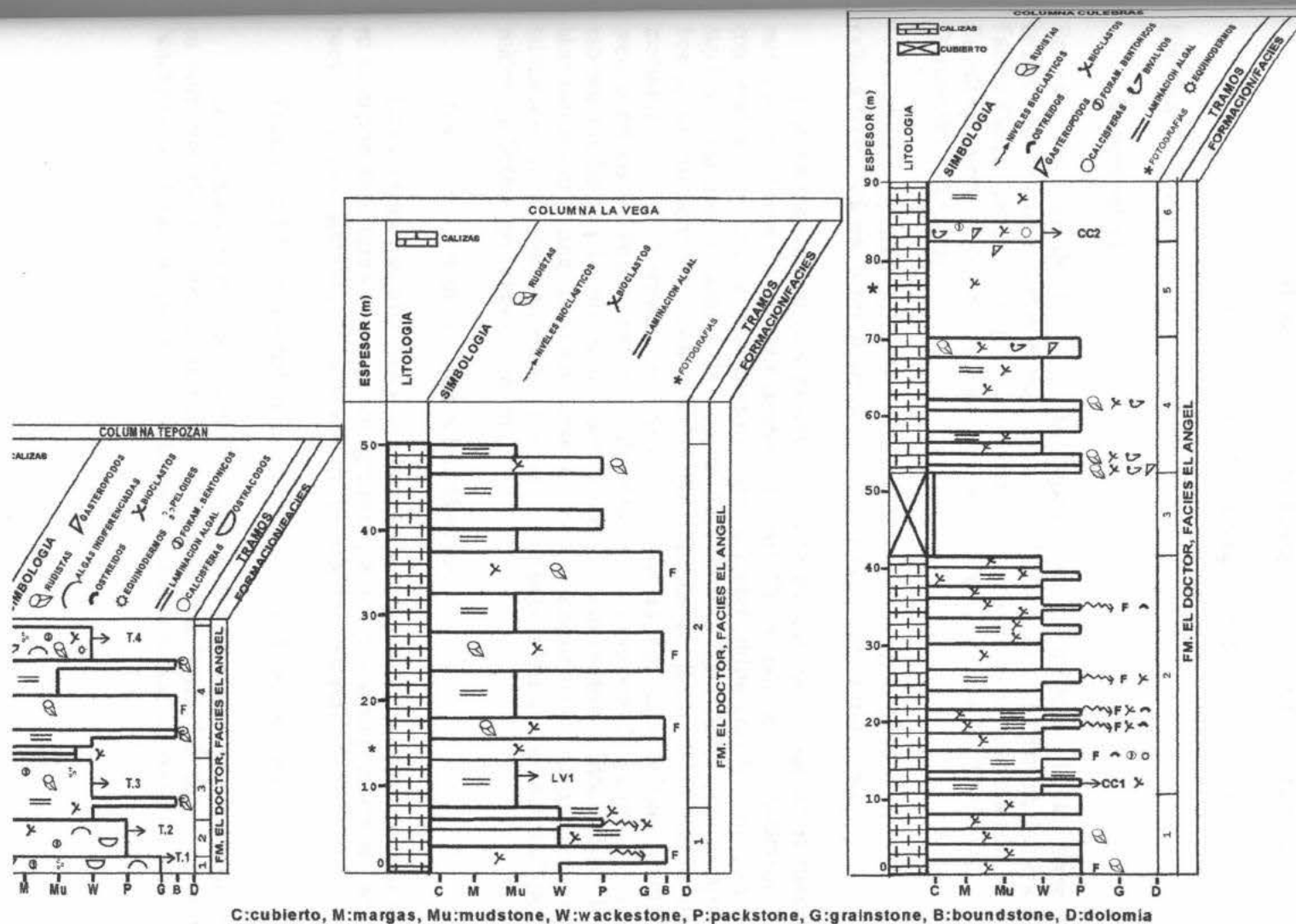


Figura 66 - Columnas estratigráficas consecutivas: Tepozán, La Vega y Culebras, de la Formación El Doctor.

16.1.4. - S. E. LÁZARO (PERFIL 4)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada en la parte media del área de estudio, en el km 9 de la Carretera Estatal Vizarrón-San Joaquín, Qro., a una altura de 2,190 msnm. Se localiza en las coordenadas geográficas:

Base: 99° 40' 55" Long. W y 20° 53' 44" Lat. N

Techo: 99° 40' 57" Long. W y 20° 53' 45" Lat. N

(Figuras 76 y 84).

Descripción

En esta sección de 56.3 m de espesor se identifican de la base al techo, sedimentos carbonatados cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel y Facies Cerro Ladrón, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 288°/74°. El infrayacente cubierto de esta sección corresponde a la Facies El Angel de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 30.3 m de alternancia de calizas laminadas, calizas micríticas y calizas bioclásticas, intercaladas con estratos de caliza margosa.

Las calizas margosas grises en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor delgado (.1 m). Corresponden a "packstone" peloidal, con ooides y pellets, y "wackestone" de calcisferúlidos con laminación de tapices algales y algunos cristales de cuarzo. Las calizas laminadas gris oscuro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano (.3 m). Forman "wackestone" bioclástico. Las calizas micríticas gris oscuro en corte fresco, están conformadas en cuerpos de geometría tabular, de espesor mediano (.15 m). Estas pertenecen a "wackestone" bioclástico. Las calizas bioclásticas gris negrusco en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares, de espesor mediano (.2 m) y corresponden a "packstone" peloidal con ooides, pellets y granos de cuarzo.

Tramo 2: 13.4 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris claro y oscuro en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor grueso (.8 m) y corresponden a "wackestone-packstone" bioclástico y "floatstone" bioclástico ocasional.

Tramo 3: 12.6 m de intercalación de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris-verde en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos de geometría tabular y espesor mediano (.2 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico, con miliólidos, peloides, valvas de ostrácodos, fenestras



Figura 67 - Foto del Tramo 3 de calizas bioclásticas grises.

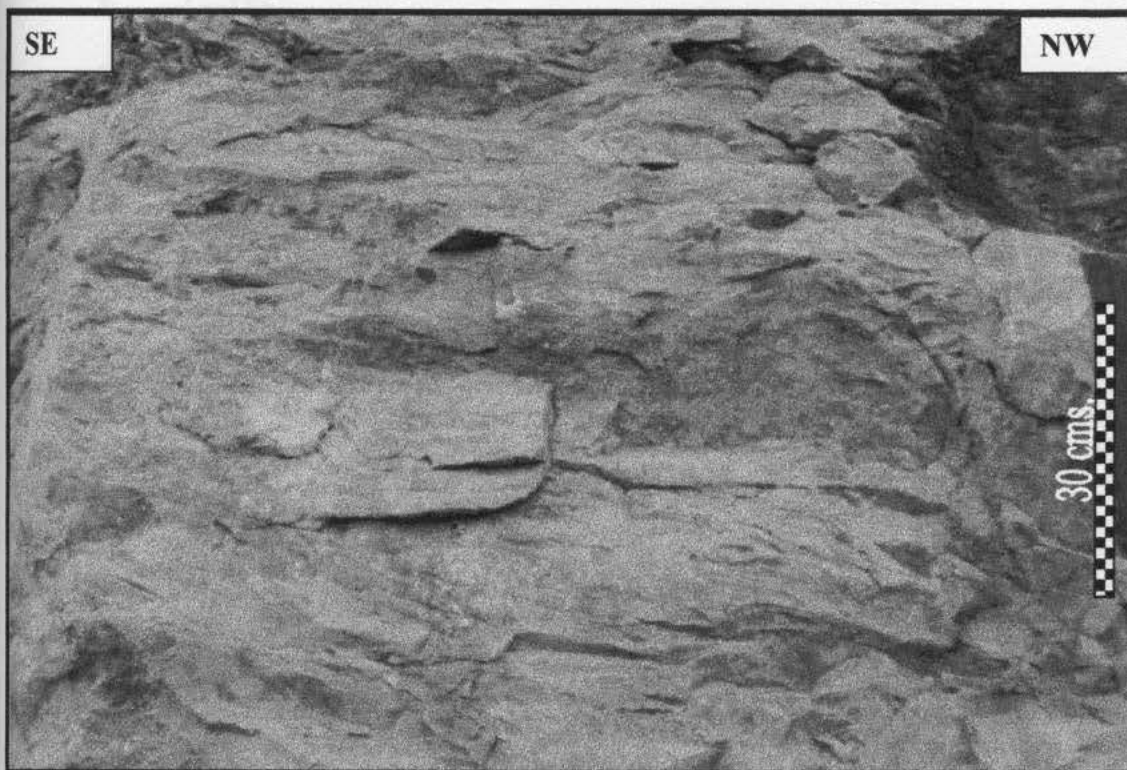


Figura 68 - Foto del Tramo 3 de calizas bioclásticas con "rudstone" bioclástico.

en cuerpos tabulares de espesor mediano (.4 m) y corresponden a "packstone" peloidal con algas, valvas de ostrácodos, fenestras, miliólidos con envoltura micrítica, saccaminidos, bioturbación, fragmentos subangulosos de bivalvos y briozoarios. Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares, de espesor grueso (.5 m) y corresponden a "rudstone" bioclástico con algas verde-azules, placas de equinoideos y gasterópodos (Figura 67). Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, están conformadas por cuerpos tabulares de espesor masivo (1.2 m), que pertenecen a "rudstone" bioclástico con algas verde-azules, placas de equinoideos, corales escleractínidos, gasterópodos y fragmentos de bivalvos con envoltura micrítica (Figura 68).

16.1.5. - S. E. ARROYO (PERFIL 5)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada en la parte este-central del área de estudio, en el km 8 de la Carretera Estatal Vizarrón-San Joaquín, Qro. a una altura de 2,120 msnm. Las coordenadas son:

Base: 99° 41' 02" Long. W y 20° 53' 58" Lat. N

Techo: 99° 40' 06" Long. W y 20° 54' 03" Lat. N

(Figuras 76 y 84).

Descripción

En esta sección de 104 m de espesor, se identifican de la base al techo, sedimentos carbonatados cretácicos de la Formación El Doctor, Facies Cerro Ladrón, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 265°/75°. El infrayacente cubierto de esta sección corresponde a la Facies Cerro Ladrón de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 6.3 m de alternancia de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m) que corresponden a "packstone" bioclástico, con "floatstone" bioclástico ocasional. Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, se conforman en cuerpos tabulares de espesor mediano (.2-.4 m), que forman "rudstone" bioclástico. Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, se disponen en estratos de geometría tabular de espesor mediano (.3 m). Pertenecen a "grainstone" bioclástico con algas rodofitas y verdes (dasicladáceas), espinas y placas de equinoideos, cristales de apatita, fragmentos redondeados de bivalvos y bioclastos en general.

Tramo 2: 11.8 m de alternancia de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor grueso (.8 m) que se presentan como "floatstone" bioclástico. Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, están dispuestas en estratos de geometría tabular y espesor mediano (.4 m), que pertenece a "wackestone" bioclástico.



Figura 69 - Foto del Tramo 3 de calizas bioclásticas.

Tramo 3: 58.6 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris claro en corte fresco, están conformadas por estratos tabulares de espesor masivo (1 m). Forman "rudstone" de rudistas requiénidos y caprinidos, gasterópodos, briozoarios y bivalvos, valvas de ostrácodos, pellets, peloides, algas verdes y fragmentos redondeados con envoltura micrítica (Figura 69).

Tramo 4: 11 m de alternancia de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris-verde oscuro en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor mediano a grueso (.4-.7 m) que corresponden a "rudstone" y a la lateral "wackestone" bioclástico. Las calizas bioclásticas gris-verde claro en corte fresco, se conforman en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), que pertenecen a "floatstone" de bioclastos.

Tramo 5: 9.1 m de alternancia de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano (.3-.5 m) que se presentan como "wackestone-packstone" bioclástico con horizontes esporádicos de "floatstone" bioclástico. Las calizas bioclásticas verdes en corte fresco, están dispuestas en estratos de geometría tabular, de espesor mediano a grueso (.5 m). Corresponden a "packstone" bioclástico con "rudstone" bioclástico ocasional con foraminíferos miliólidos y ataxofrágmidos (*Spiroplectinata sp.*), peloides y pellets.

Tramo 6: 7.2 m de alternancia de calizas bioclásticas y calizas micríticas.

Las calizas bioclásticas gris-verde claro en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso (.8 m), formados por "floatstone" bioclástico. Las calizas micríticas gris claro en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor grueso a masivo (1 m). Forman "floatstone" de rudistas en la base y parte media, y "wackestone" bioclástico en el techo, con bioturbación vertical.

16.1.6. - S. E. DOLINA (PERFIL 6)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada al NW del área de estudio, en el km 6 de la Carretera Estatal de Vizarrón a San Joaquín, Qro., a una altura de 2,025 msnm. Está localizado en las coordenadas geográficas:

99° 42' 13" Long. W - 20° 54' 20" Lat. N

(Figuras 76 y 84).

Descripción

En esta sección de 16.1 m de espesor, se identifican de la base al techo, sedimentos marinos cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 269°/80°. El infrayacente cubierto de esta sección, corresponde a la Facies El Angel de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 13.9 m de alternancia de calizas micríticas y calizas bioclásticas.

Las calizas micríticas verdes en corte fresco, están distribuidas en cuerpos tabulares de espesor grueso (.9 m) y corresponden a "mudstone" bioclástico con foraminíferos miliólidos, algas verdes (dasicladáceas), valvas de ostrácodos, fenestras y rastros de bioturbación. Las calizas micríticas gris oscuro en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor mediano a grueso (.5 m) que se presentan como "wackestone" bioclástico. Las calizas bioclásticas color crema en corte fresco, están distribuidas en estratos tabulares de espesor mediano (.3 m) y forman "mudstone" de miliólidos* con fenestras y cristales de cuarzo. Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular, de espesor grueso a masivo (1 m), las que corresponden a "floatstone" bioclástico con bioturbación.

Tramo 2: 2.2 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris-verde y gris oscuro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.3 m). Corresponden a "wackestone" de miliólidos en la base, horizontes de "packstone" de litoclastos redondeados a angulosos con envoltura micrítica e intraclastos en la parte media y "packstone" de peloides y miliólidos con algas verdes (dasicladáceas) y bioturbación horizontal en el techo.

* Estos son característicos del interior de la plataforma.

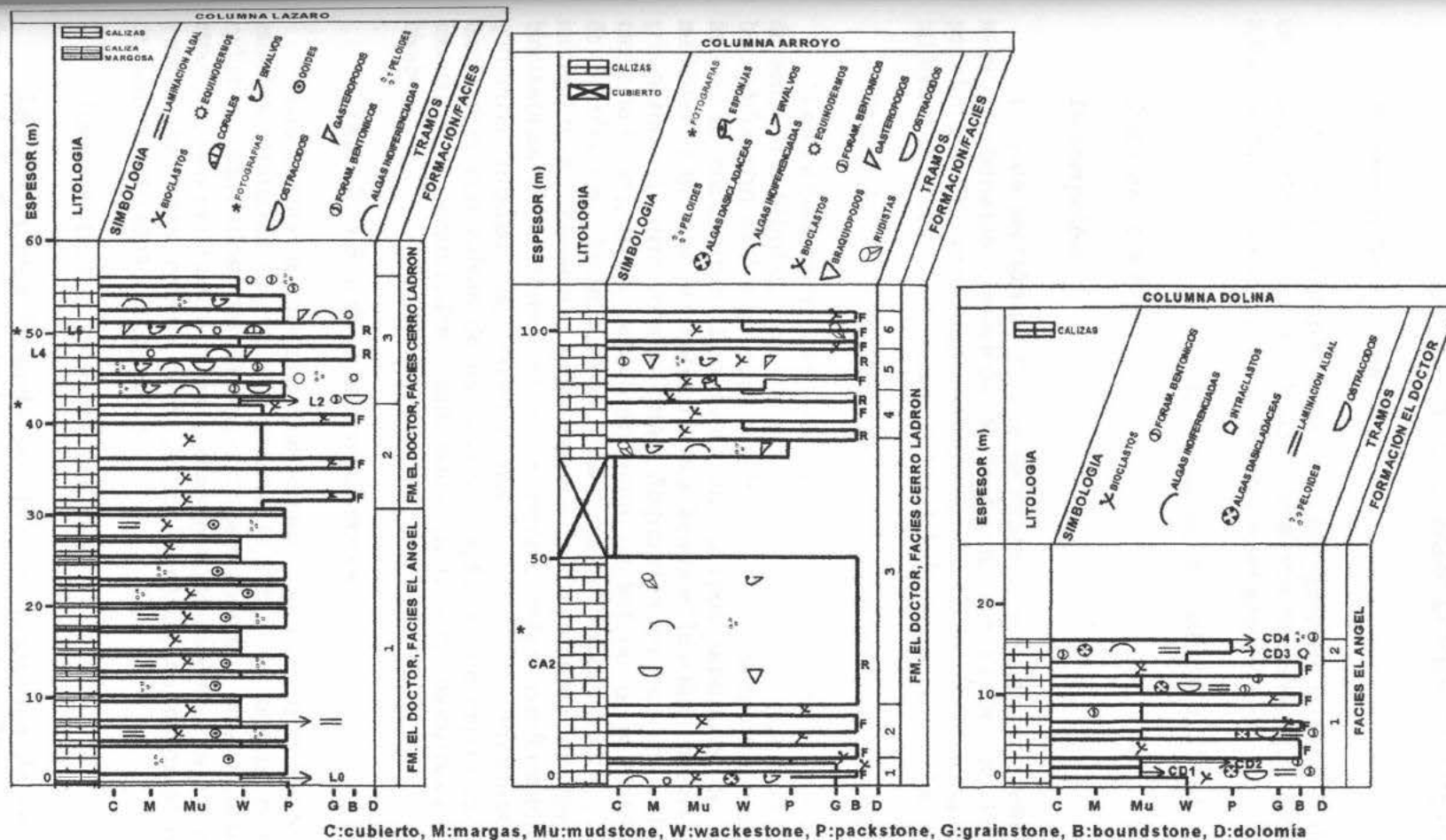


Figura 70 - Columnas estratigráficas consecutivas: Lázaró, Arroyo y Dolina, de la Formación El Doctor.

16.1.7. - S. E. CHARCO VERDE (PERFIL 7)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada al W del área de estudio, en el km 5 de la Carretera Estatal Vizarrón-San Joaquín, Qro. a una altura de 2,025 msnm. Se localiza en las coordenadas geográficas:

99° 42' 55" Long. W - 20° 54' 1.3" Lat. N

(Figuras 76 y 85).

Descripción

En esta sección de 29.1 m de espesor, se pudieron identificar de la base al techo, carbonatos cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 261°/77°. Esta sección tiene como infrayacente cubierto la Facies El Angel de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 7.1 m de alternancia de calizas micríticas y calizas bioclásticas.

Las calizas micríticas color crema en corte fresco, se disponen en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (1.9 m). Corresponden a "wackestone" bioclástico con fósiles grandes ocasionales. Las calizas micríticas verdes en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos tabulares de espesor delgado a mediano (.1 m), que pertenecen a "wackestone" bioclástico. Las calizas bioclásticas gris-pardo en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), que se presentan como "packstone" de peloides con pellets, valvas de ostrácodos, foraminíferos miliólidos y saccamínidos, algas verde-azules incrustantes, fenestras, gasterópodos y fragmentos de bivalvos. Las calizas bioclásticas color crema en corte fresco, están conformadas en cuerpos de geometría tabular, de espesor masivo (2.5 m). Presentan un "floatstone" bioclástico, con valvas de ostrácodos, espículas de esponjas, algas verde-azules incrustantes, foraminíferos miliólidos, rastros de bioturbación y fragmentos de bivalvos.

Tramo 2: 3.8 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas color crema y gris en corte fresco, se conforman en estratos tabulares de espesor masivo (1.5 m). Se forman como "floatstone" de rudistas caprínidos, requiénidos y gasterópodos con espículas triaxonas de esponjas, valvas de ostrácodos, placas de equinoideos, foraminíferos saccamínidos y miliólidos, algas verdes y verde-azules incrustantes, esponjas calcáreas, cristales de cuarzo, ostreidos y briozoarios.

Tramo 3: 18.2 m de brecha con yeso.

La brecha está formada por bloques angulosos de caliza gris, en corte fresco, de 5-18 cm de diámetro, que corresponden a "packstone" bioclástico. El yeso es de color crema, con color de intemperismo negrusco.

16.1.8. - S. E. CHARCO LARGO (PERFIL 8)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada al W de la zona de estudio, en el km 3 de la Carretera Estatal que va de Vizarrón a San Joaquín, Querétaro, a una altura de 1,950 msnm. Se localiza en las coordenadas geográficas:

99° 43' 08" Long. W - 20° 54' 0.9" Lat. N

(Figuras 76 y 85).

Descripción

En esta sección de 42 m de espesor, se pudieron identificar de la base al techo, carbonatos cretácicos de la Formación El Doctor, Facies El Angel, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 63°/12°. Esta sección tiene como infrayacente cubierto la Facies El Angel de la Formación El Doctor.

Tramo 1: 15 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m), que forman "floatstone" de rudistas caprinidos, requiénidos, radiolitidos, con "rudstone" ocasional bioclástico.

Tramo 2: 5 m de alternancia de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor mediano (.5 m), los que corresponden a "floatstone" de rudistas caprinidos, requiénidos, radiolitidos y gasterópodos. Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, se encuentran conformadas por estratos tabulares de espesor entre .4-.7 m, que forman "floatstone" bioclástico.

Tramo 3: 6 m de alternancia de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.5-.6 m), que pertenecen a "floatstone" de rudistas caprinidos, radiolitidos, requiénidos con "rudstone" bioclástico ocasional. Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.7 m), que forman "floatstone" de bioclastos de bivalvos y rudistas y "grainstone" bioclástico con placas de equinoideos, algas verdes (dasicladáceas), peloides, gasterópodos, fragmentos redondeados de ostreidos con envoltura micrítica. Las calizas bioclásticas verde claro en corte fresco, se presentan en cuerpos tabulares de espesor mediano (.3 m), los que corresponden a "floatstone" bioclástico.

Tramo 4: 16 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, se encuentran dispuestas en estratos tabulares de espesor grueso (.5-.6 m), que corresponden a "floatstone" de rudistas caprinidos, radiolíticos, requiñidos, y "rudstone" bioclástico en forma ocasional.

16.1.9. - S. E. AGUA SALADA (PERFIL 9)

Situación Geográfica

Esta sección complementaria se encuentra situada al W de la zona de estudio, en el km 2 de la Carretera Estatal que va de Vizarrón a San Joaquín, Querétaro, a una altura de 1,900 msnm. Se localiza en las coordenadas geográficas:

99° 43' 32" Long. W - 20° 53' 31" Lat. N

(Figuras 76 y 85).

Descripción

En esta sección de 37 m de espesor, se pudieron identificar de la base al techo, carbonatos cretácicos de la Formación El Doctor, Facies Cerro Ladrón, en posición normal, con rumbo y buzamiento de 85°/10°. Esta sección tiene como infrayacente cubierto la Facies Cerro Ladrón de la Formación El Doctor y termina con el contacto concordante con la Formación Soyatal.

Tramo 1: 15 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, se disponen en cuerpos tabulares de espesor grueso (.6-.7 m), que presentan "floatstone" de rudistas caprinidos y bioclastos.

Tramo 2: 20 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas grises en corte fresco, están dispuestas en estratos tabulares de espesor mediano (.3-.4 m), que forman "floatstone" de rudistas caprinidos y bioclastos menores.

Tramo 3: 2 m de calizas bioclásticas.

Las calizas bioclásticas gris oscuro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.6 m), que corresponden a "floatstone" bioclástico.

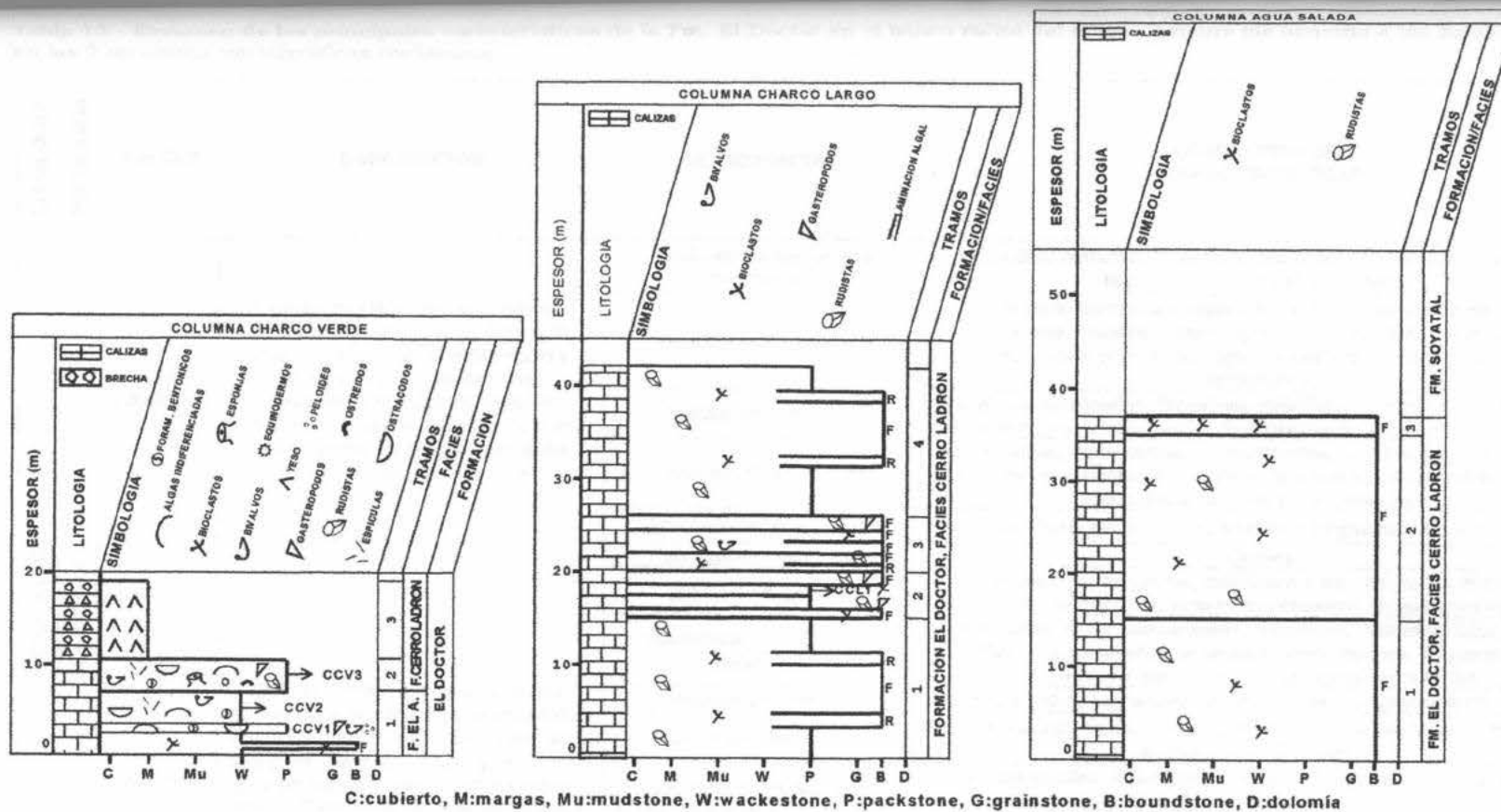


Figura 71 - Columnas estratigráficas consecutivas Charco Verde, Charco largo y Agua Salada, de la Formación. El Doctor.

Tabla 13 - Resumen de las principales características de la Fm. El Doctor en el banco calizo del mismo nombre (de acuerdo a los datos obtenidos en las 9 secciones estratigráficas realizadas).

LITOLOGIA	FORMACIÓN	FACIES	DESCRIPCION	MICROFACIES	COMPONENTES/ CARACTERISTICAS
CARBONATOS	EL DOCTOR	CERRO LADRÓN	Calizas bioclásticas, micríticas y brechas con yeso, color gris, gris claro y oscuro, gris-verde claro y oscuro, verde y verde claro. Geometría tabular de espesor mediano a masivo (.1-más de 1 m) con superficies de estratificación planas.	"wackestone-packstone" bioclástico	Miliólidos, peloides, fenestras, ostrácodos y calcisferúlidos, con bioturbación vertical en el techo.
				"floatstone" bioclástico	Formando horizontes esporádicos de bioclastos de esponjas calcáreas, rudistas, gasterópodos, ostrácodos, equinoideos, saccaminidos y miliólidos, algas incrustantes, cuarzo, ostreidos y briozoarios.
				"packstone" peloidal	Con algas, ostrácodos, fenestras, miliólidos con envoltura micrítica, saccaminidos, bioturbación, fragmentos de bivalvos y briozoarios.
				"rudstone" bioclástico	Con algas, equinoideos, gasterópodos, corales, fragmentos de bivalvos con envoltura micrítica, briozoarios, ostrácodos, pellets, peloides, miliólidos y saccaminidos.
				"grainstone" bioclástico	Con algas, equinoideos, apatita y fragmentos de bivalvos.
		EL ANGEL	Calizas grises, grises laminadas, micríticas y bioclásticas, intercaladas ocasionalmente con estratos de caliza margosa; color gris claro, gris oscuro, gris-pardo, gris-verde, color crema y verde. Geometría tabular de espesor delgado a masivo (.01-1 m) con superficies de estratificación planas.	"packstone" de ooides	Ooides
				"grainstone" peloidal	Con laminación, fenestras, miliólidos y saccaminidos micritizados, algas, ostrácodos, presencia ocasional de gasterópodos.
				"packstone" de peloides y miliólidos	Ostrácodos, algas incrustantes, miliólidos, calcisferúlidos, ooides, pellets, saccaminidos, fenestras, gasterópodos, fragmentos de bivalvos y bioturbación horizontal en el techo.
				"wackestone" peloidal	Tapices algales, saccaminidos, miliólidos y fragmentos de ostreidos.
				"floatstone" bioclástico	Con cuarzo, miliólidos, fragmentos de equinoideos, ostreidos, gasterópodos y rudistas.
				"mudstone-wackestone" bioclástico y de calcisferúlidos	Tapices algales, miliólidos, peloides, dolomita, cuarzo y apatita, equinoideos, calcisferúlidos deformados, ostrácodos, fenestras y bioturbación.
				"mudstone" laminado	Sin fósiles, laminación posiblemente algal.
				"mudstone-wackestone" de miliólidos	Con fenestras y cuarzo.
				"packstone" de litoclastos	Con envoltura micrítica e intraclastos.
				"grainstone" bioclástico	Con equinoideos, algas, peloides, gasterópodos y ostreidos con envoltura micrítica.
				"rudstone" bioclástico	Con gasterópodos, gusanos tubícolas y bivalvos.

16.2. - DESARROLLO FACIAL

16.2.1. - DESCRIPCIÓN

Se realizaron 18 puntos de muestreo, que van de E a W y cuya secuencia numérica se fue adaptando o modificando de acuerdo a las necesidades observadas en campo (Figuras 87 y 88). Esta información se complementó con la información del análisis de las láminas delgadas correspondientes a cada punto. Además de que se les asignó una microfacies standard (MFS) y un número de cinturón de facies de Wilson (CFW).

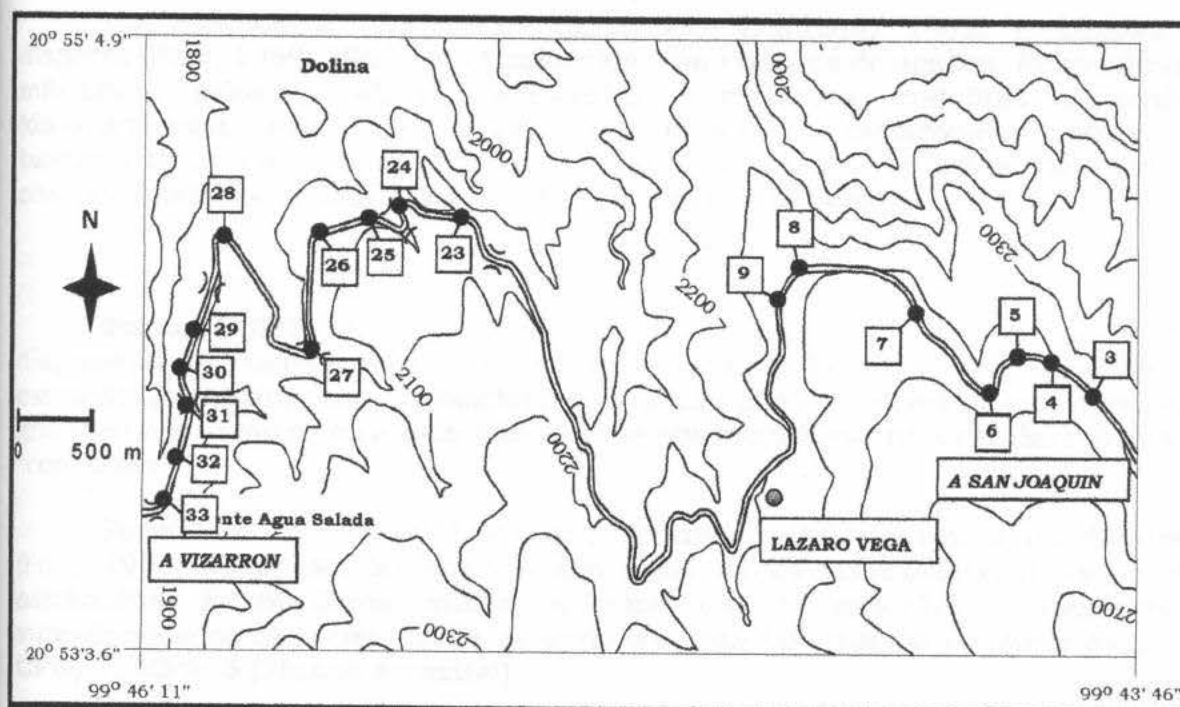


Figura 72 - Ubicación de puntos de muestreo en el área de El Doctor. Modificado de I.N.E.G.I., 1981, 1995.

16.2.2. - PUNTOS DE MUESTREO EL DOCTOR

Punto VIZP3: 2,300 msnm. Las calizas gris oscuro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.8 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris crema y naranja, roca muy fracturada, medio intemperizada. Se observan fósiles de gasterópodos (nerineidos), rudistas caprinidos (*Radiolites abraensis*) y rastros de bioturbación.

Pertenece a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verde-azules incrustantes y rodofitas, gasterópodos, bioclastos, fragmentos de rudistas radiolíticos (*Eoradiolites davidsoni*) y briozoarios (Figura 74). De acuerdo con esta información se asigna: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto VIZP4: 2,300 msnm. Las calizas grises en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro y naranja, zona con presencia de karren. Se observan fósiles de gasterópodos (turritelas, nerineidos, entre otros), rudistas requiénidos y ostreidos.

Corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con cristales de apatita, foraminíferos miliólidos, peloides, algas verde-azules incrustantes, rodofitas y verdes (dasicladáceas), placas de equinoideos, valvas de ostrácodos, rastros de bioturbación, gasterópodos y fragmentos subangulosos de rudistas. De acuerdo con estos datos se asigna: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto VIZP5: 2,280 msnm. Las calizas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor masivo (2.2 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris crema y naranja, roca muy kárstica. Se observan horizontes de algas fósiles y "conchitas".

Forma un "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verdes (dasicladáceas), valvas de ostrácodos, foraminíferos miliólidos, espículas de esponjas y fragmentos subredondeados de ostreidos. De acuerdo con esta información se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto VIZP6: 1,290 msnm. Las calizas grises en corte fresco, se encuentran conformadas en estratos tabulares de espesor masivo (1.2 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro y naranja, zona muy kárstica y fracturada. Se observan horizontes de fósiles tectonizados de rudistas requiénidos y caprinidos. Presencia de estilolitos sedimentarios.

Corresponde a "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), con algas verdes codiáceas (*Halimeda* sp.), verde-azules filamentosas y rodofitas, esponjas calcáreas, briozoarios, espigas de equinoideos y fragmentos de ostreidos. De acuerdo con estos datos se puede asignar: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto VIZP7: 1,300 msnm. Las calizas grises en corte fresco, se conforman en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.9 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, color de intemperismo gris claro, estilolitos sedimentarios. Presencia de karren. Se observan fósiles de rudistas requiñidos.

Pertenece a "grainstone" de miliólidos (Dunham, 1962) o bioesparita redondeada (Folk, 1959; 1962), con foraminíferos miliólidos, saccaminidos y rotálidos, algas verde-azules incrustantes y calcisferúlidos (Figura 80). De acuerdo con la información citada se puede asignar: **CFW: 6, MFS: 11 (Medio de plataforma en agua agitada)**

Punto VIZP8: 2,275 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor grueso (.6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris crema con naranja. Se observan fósiles de rudistas requiñidos.

Forma un "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita fosilífera (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, pellets y cristales de cuarzo (Figura 77). De acuerdo con la información obtenida se puede asignar: **CFW: 7, MFS: 9 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto VIZP9: 2,215 msnm. Las calizas grises en corte fresco, se presentan en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.2 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, con color de intemperismo gris verdoso, roca muy kárstica. Se observan fósiles de rudistas requiñidos y gasterópodos.

Pertenece a "packstone" de miliólidos (Dunham, 1962) o bioesparita escasamente lavada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con fenestras, foraminíferos miliólidos, pellets, valvas de ostrácodos, gasterópodos y fragmentos de braquiópodos perforados (Figura 79). Con estos datos se ha asignado: **CFW: 7, MFS: 10 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto VIZP23: 1,980 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, se presentan en estratos tabulares de espesor mediano (.4 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo amarillo, blanco y gris crema, con una capa de yeso cubriendo la parte superior y rellenando fracturas, roca muy fracturada. Se observan varios horizontes de fósiles de rudistas requiñidos.

Corresponde a "grainstone" peloidal (Dunham, 1962) o pelmicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos miliólidos, valvas de ostrácodos, peloides y granos de cuarzo (Figura 82). Con esta información se ha asignado: **CFW: 8, MFS: 16 (Plataforma marina restringida)**

Punto VIZP24: 1,875 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se encuentran conformadas en cuerpos tabulares de espesor masivo (1.7 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura concoidal, colores de intemperismo gris-café y blanco (yeso), se presenta una capa de yeso cubriendo las rocas, zona muy fracturada. Se observan fósiles difusos de gasterópodos (turritelas).

Esta muestra forma un "mudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o micrita (Folk, 1959; 1962), con laminación y foraminíferos recristalizados (Figura 84). Por medio de estos datos se asigna: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma restringida)**

Punto VIZP25: 1,880 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, se conforman en cuerpos tabulares de espesor masivo (3.3 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura subconcoidal, colores de intemperismo gris claro con crema, se presenta una capa de yeso de 2 m sobre los estratos, roca muy fracturada. No se observan fósiles.

Corresponde a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, foraminíferos saccaminidos y valvas de ostrácodos. Por medio de esta información se ha asignado: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma restringida)**

Punto VIZP26: 1,825 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, están conformadas en estratos tabulares de espesor masivo (1.2 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura subconcoidal, color de intemperismo gris claro amarillento, capa de yeso de 4 mm sobre los estratos, zona muy fracturada. No se observan fósiles.

Pertenece a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, foraminíferos saccaminidos y miliólidos, valvas de ostrácodos, algas verdes (codiáceas) y verde-azules, gasterópodos, esponjas calcáreas, rastros de bioturbación, granos de cuarzo y fragmentos de ostreidos. Por medio de los datos mencionados se asigna: **CFW: 8, MFS: 19 (Laguna de plataforma restringida)**

Punto VIZP27: 1,850 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se presentan en cuerpos tabulares de espesor masivo (6 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, color de intemperismo gris crema con amarillo, roca muy fracturada. Con abundancia de fósiles de ostreidos bastante redondeados.

Forma un "grainstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con intraclastos, algas verde-azules, verdes (codiáceas), esponjas calcáreas, gasterópodos, fragmentos redondeados de ostreidos y braquiópodos (Figura 83). Por medio de la información citada se asigna: **CFW: 7, MFS: 17 (Plataforma marina restringida)**

Punto VIZP28: 1,835 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor masivo (2 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura subconcoidal, colores de intemperismo gris crema y blanco, zona muy fracturada, capa de 30 cm sobre los estratos. Se observan fósiles de gasterópodos (turritelas), rudistas caprinidos y esponjas.

Corresponde a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita dispersa (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con gasterópodos, tubos de gusanos tubícolas y fragmentos de bivalvos (Figura 77). Con los datos obtenidos se asigna: **CFW: 7, MFS: 8 (Plataforma de circulación abierta)**

Punto VIZP29: 1,800 msnm. Las calizas gris claro en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor masivo (1.5 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, color de intemperismo gris crema, roca muy fracturada y kárstica, con marcas de karren. Con abundancia de fósiles, rudistas caprinidos muy grandes ($\varnothing$ 10 cm) y radiolítidos (*Radiolites abraensis*).

Pertenece a "wackestone" peloidal (Dunham, 1962) o biopelmicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con fenestras, pellets, algas verde-azules y verdes (dasycladáceas), litoclastos, bioclastos varios con envoltura micrítica, fragmentos subredondeados a subangulosos de bivalvos y equinoideos (Figura 81). Con los datos mencionados se ha asignado: **CFW: 6, MFS: 14 (Medio de plataforma en agua agitada)**

Punto VIZP30: 1,800 msnm. Las calizas grises en corte fresco, están dispuestas en cuerpos tabulares de espesor masivo (2.6 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo gris oscuro con crema. Con abundantes fósiles recristalizados y deformados, rudistas caprinidos (*Kimbleia albrittoni*, *Mexicaprina quadrata*) y radiolítidos (*Radiolites abraensis*).

Esta muestra corresponde a "floatstone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con espículas de esponjas, algas verde-azules y verdes (dasicladáceas), placas y espinas de equinoideos, foraminíferos saccamínidos (*Psammospaera* sp.), gasterópodos, tubos de gusanos tubícolas y fragmentos de rudistas. Con estos datos se asigna: **CFW: 4, MFS: 5 (Flanco arrecifal)**

Punto VIZP31: 1,760 msnm. Las calizas gris-verde oscuro en corte fresco, se presentan en estratos tabulares de espesor masivo (5 m), con superficie de estratificación plana, textura micrítica, fractura planar, colores de intemperismo gris claro con color rojizo de oxidación y crema (yeso), presenta una capa superior de yeso. Se observan fósiles de rudistas radiolítidos (*Radiolites abraensis*) y caprinidos.

Pertenece a "wackestone" bioclástico (Dunham, 1962) o biomicrita empaquetada (Folk, 1959; 1962), con pseudolaminación, algas verde-azules incrustantes, espículas de esponjas, espinas de equinoideos, foraminíferos recristalizados y fragmentos de bivalvos (Figura 76). Con esta información se asigna: **CFW: 5, MFS: 7 (Bioconstrucciones)**

Punto VIZP32: 1,780 msnm. Las calizas gris-verde en corte fresco, se encuentran dispuestas en cuerpos de geometría tabular de espesor grueso (.7 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, colores de intemperismo gris crema y blanco, yeso asociado a fracturas, zona muy fracturada. Se observan fósiles de rudistas caprinidos y fragmentos varios.

Corresponde a "rudstone" arrecifal (Dunham, 1962) o bioesparita escasamente lavada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con foraminíferos saccamínidos, algas verde-azules, esponjas, rudistas caprinidos con relleno geopetal, gasterópodos, briozoarios y fragmentos de ostreidos. De acuerdo con los datos obtenidos se asigna: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

Punto VIZP33: 1,820 msnm. Las calizas grises en corte fresco, se disponen en estratos tabulares de espesor grueso (.8 m), con superficie de estratificación plana, textura bioclástica, fractura planar, color de intemperismo gris crema, roca muy fracturada. Se observan abundantes fósiles de rudistas caprinidos (*Mexicaprina quadrata*, *Kimbleia albrittoni*) y radiolítidos (*Radiolites abraensis*).

Forma un "rudstone" bioclástico (Dunham, 1962) o bioesparita mal sorteada (Folk, 1959; 1962), sin laminación, con algas verdes (dasicladáceas), verde-azules filamentosas y rojas, gasterópodos, bioclastos con envoltura micrítica, fragmentos redondeados de braquiópodos, briozoarios, rudistas y ostreidos (Figura 75). Por medio de los datos mencionados se asigna: **CFW: 4, MFS: 6 (Flanco arrecifal)**

TABLA DEL ANÁLISIS MICROFACIAL

Tabla 14 - Resultados del análisis microfacial en el área de El Doctor. Nomenclatura igual a la Tabla 2.

CATEGORIA	# M	CFW	MFS	DUNHAM	FOLK	CONTENIDO
T	3	4	5	FB	BeMS	B, Bri, AC, RRa, AVA, G, AR
T	4	4	5	FB	BmD	Ap, B, G, FoB, Pe, AVA, AR, AC, E, Oa, Bi, R
T	5	4	5	FB	BmD	Es, Os, AC, Oa, FoB, B
T	6	4	6	RB	BeMS	Os, AVA, Es, AR, Bri, E, B,
MPAA	7	6	11	GFoB	BeR	FoB, AVA, C
PCA	8	7	9	MB	MF	B, P, Cu
PCA	9	7	10	PFoB	BeEL	F, FoB, P, G, Br, Oa, B, Bri,
PMR	23	8	16	WFoB	BmD	FoB, Cu, Oa, Pe
LPMR	24	8	19	MB	M	FoB
LPMR	25	8	19	WB	BmD	FoB, Oa
LPMR	26	8	19	WB	BmD	FoB, Oa, B, AVA, G
LPMR	27	7	17	GB	BeMS	B, I, AVA, Br, Es, G, Os,
PCA	28	7	8	WB	BmD	G, B, Gu
MPAA	29	6	14	WPe	BpE	F, Pe, B, P, AVA, AC
T	30	4	5	FB	BmE	Es, G, AVA, B, E, Gu, R, FoB, AC
CO	31	5	7	Bin	BmE	AVA, Es, E, FoB, B
T	32	4	6	RB	BeEL	B, FoB, RC, Os, G, Bri, AVA, Es
T	33	4	6	RB	BeMS	B, AR, AVA, Br, G, Bri, R, AC, Os

16.3. - ANÁLISIS MICROFACIAL

Según el análisis microfacial realizado a las muestras (láminas delgadas) del Banco Calizo El Doctor, se puede mencionar que se encontraron 5 Cinturones de Facies de Wilson (CFW) distribuidos en forma concéntrica y semi-elipsoidal (infiriendo que el extremo norte de la elipse se cierra en semicírculo) (Figura 73). Los CFW 4 y 5 corresponden a la Facies Cerro Ladrón y los CFW 6, 7 y 8 corresponden a la Facies El Angel, de la Formación El Doctor.

Estos cinturones de facies son de la parte externa de la plataforma hacia el interior:

- **CFW 4 - Flanco arrecifal.**

Muestras número: VIZP3, VIZP4, VIZP5, VIZP6, VIZP30, VIZP32 y VIZP33.

MFS*: 5 y 6

En este cinturón de facies se pueden distinguir según la clasificación textural de Dunham (1962): "floatstone" y "rudstone" bioclástico compuesto principalmente por bivalvos distorsionados[†], principalmente rudistas radiolitidos y caprinidos (60% según Griffith *et al.*, 1969), ostreidos y gasterópodos (nerineidos y turritelas).

Según la clasificación textural de Folk (1959, 1962) se tiene: bioesparita mal sorteada, biomicrita dispersa y empaquetada, que corresponden a la Microfacies Standard (MFS) 5 (VIZP3, VIZP4, VIZP5 y VIZP30). En el contenido fósil se encuentran principalmente algas verdes (codiáceas articuladas a menudo asociadas con rudistas caprinidos), verde-azules y rojas (coralinas de varios tipos asociadas a rudistas radiolitidos), diversos foraminíferos bentónicos, ostrácodos, espículas de esponjas, etc.[‡]

Además, se tiene bioesparita mal sorteada y escasamente lavada, que corresponden a la Microfacies Standard 6 (VIZP6, VIZP32 y VIZP33), con contenido fósil de algas verdes, verde-azules y rojas, briozoarios, etc.

Según Embry & Klovan (1971), esta facies pertenece a la clasificación de calizas alóctonas de "facies de flanco o pre-arrecifales".

* Microfacies Standard

† La distorsión sólo es observable a nivel macroscópico.

‡ Según Griffith (1969) aproximadamente 5% de cada uno de ellos.

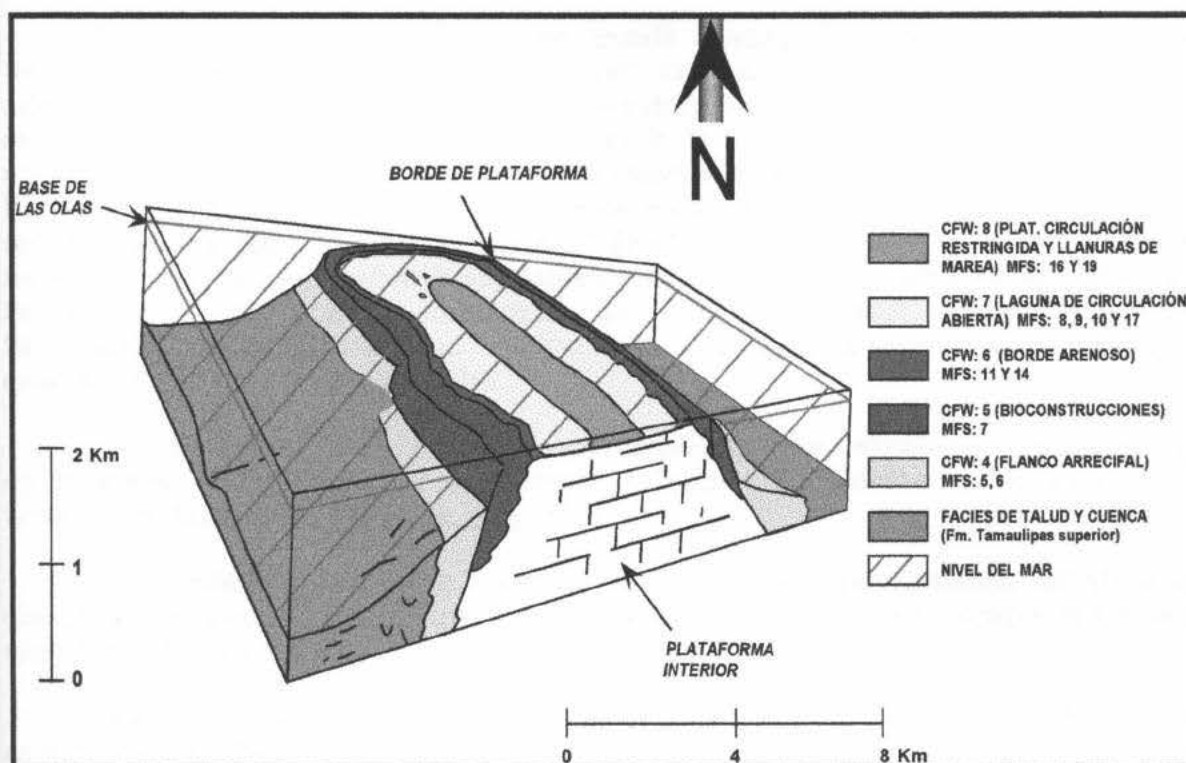


Figura 73 - Modelo facial propuesto para la Plataforma Aislada de El Doctor. Escala vertical exagerada.

Wilson (1975) la describe como un halo marginal al borde de la plataforma con bioconstrucciones de rudistas caprinidos y radiolítidos que generalmente se incluye en la Formación El Abra y en este caso se ha incluido también para la Formación El Doctor.

Estas calizas masivas bien estratificadas corresponden a flancos arrecifales formados por la mezcla de bioclastos de organismos que viven en el borde de la plataforma. La presencia de bioclastos y litoclastos angulosos y desgastados es típica de los depósitos de estos flancos y su inclinación varía de 2°-15° grados*. La bioturbación encontrada en estos sedimentos es común en las facies de mar adentro (Howard & Reineck, 1981).

La presencia de algas verde-azules, las que viven a profundidades menores a 45 m y de algas rojas que se encuentran a profundidades mayores de 25 m, indica que la profundidad de esta zona fluctuaba entre los 25 y 45 m.

• CFW 5 - Bioconstrucciones

Muestras número: VIZP31

MFS: 7

* Según dato de Wilson (1975) para las plataformas cretácicas del centro de México.

En este cinturón de facies se puede distinguir según la clasificación textural de Dunham (1962): "bindstone" compuesto de algas verde-azules. Además, se observaron al menos dos zonas del área con calizas tipo "framestone" de rudistas. Según la clasificación de Folk (1959, 1962), se tiene biomicrita empaquetada, que corresponde a la Microfacies Standard 7 y según Embry & Klovan (1971) corresponde al subtipo de facies arrecifal. Wilson (1975) al respecto señala que las bioconstrucciones de El Doctor, corresponden a montículos de rudistas (caprínidos y radiolítidos) sobrepuestos unos sobre otros en el borde del banco, con un espesor individual de 3-15 m. Cabe señalar que las bioconstrucciones de rudistas tenían más continuidad que las de corales, alcanzando hasta 100 m de ancho.

El contenido fósil consiste en espículas de esponjas, espinas de equinoideos, fragmentos de bivalvos, rudistas requiñidos y foraminíferos bentónicos (Listado de especies, pág. 179).

Al noreste del área no se tienen muestras de este tipo de facies, debido a la distancia de toma de muestras, pero fueron observadas en campo entre las muestras VIZP6 y VIZP7.

Según Coogan *et al* (1972) esta facies corresponde a una micrita de caprínidos y Griffith *et al.* (1969) y Carrasco (1970) la denominaron como arrecife orgánico.

Este cinturón de facies corresponde a la parte más alta del arrecife o bioconstrucción "in situ" en cualquier etapa de crecimiento. En general la diversidad en esta zona es baja* en cuanto a presencia de grupos, pues sólo se encuentran organismos específicos para el tipo de oleaje y energía (en esta zona se puede considerar que es de moderado a alto) (James, 1983). Aquí se encuentran rudistas caprínidos y radiolítidos y varios tipos de algas verdes (codiáceas filamentosas asociadas a caprínidos) y verde-azules incrustantes. En general los rudistas podían vivir en medios con más limo que otros filtradores como celenterados y esponjas.

La ausencia de braquiópodos, briozoarios y algas rojas indican zona arrecifal con agua cálida y una cantidad de nutrientes reducida.

Según las divisiones de facies de núcleos arrecifales (James, 1983), la zona medular bioconstruida se encontraría en la etapa 3 de diversificación con una diversidad alta de especies de rudistas caprínidos y radiolítidos, además de algas incrustantes. La bioconstrucción se desarrolla en forma domal, masiva e incrustante, con caliza tipo "bindstone" con matriz de "mudstone" a "wackestone". Cabe mencionar que casi no se encontraron grupos de corales formando parte de las bioconstrucciones de El Doctor.

* Las comunidades en equilibrio tienen una diversidad baja, pues las especies dominantes han eliminado competitivamente a las inferiores (James & Bourque, 1993).

Según James (1983) las bioconstrucciones de esta zona pertenecen al periodo tardío del Ciclo II,* que alcanzó su mayor abundancia relativa e importancia en el Cretácico ("Medio" a Tardío) con el corto y rápido desarrollo de los rudistas en esta época.

La profundidad máxima de este cinturón de facies es de 15 m debido a la presencia de algas codiáceas articuladas y foraminíferos bentónicos que indican aguas someras en la zona fótica. La salinidad marina era normal por la presencia de equinoideos en la zona.

• CFW 6 - Borde arenoso de plataforma

Muestras número: VIZP7 y VIZP29.

MFS: 11 y 14

En este cinturón de facies se puede distinguir según la clasificación textural de Dunham (1962): "grainstone" de foraminíferos bentónicos y "wackestone" peloidal. Según la clasificación de Folk (1959, 1962) se tiene bioesparita redondeada que corresponde a la Microfacies Standard 11 (VIZP7), y que contiene calcisferúlidos (producto seguramente de algas dasicladáceas), algas verde-azules, y foraminíferos bentónicos. La biopelmicrita empaquetada que corresponde a la Microfacies Standard 14 de Wilson (VIZP29) contiene bioclastos redondeados de bivalvos, pellets, algas verdes, verde-azules y fenestras.

En esta zona el sedimento se forma en áreas con oleaje constante, en o sobre la base de las olas, por lo que el cieno limoso es removido y los fragmentos son redondeados antes de ser cubiertos. La refracción de las olas acumula la arena en cayos e islas; estas obstrucciones crean pequeños medios protegidos muy cerca de la cresta arrecifal. El agua aquí es muy somera (algunos metros de profundidad) y son comunes algunas bioconstrucciones dispersas de metazoarios.

Este cinturón se puede encontrar en bancos de arena, playas, barras de marea en abanicos o islas de dunas. Presentan alturas de 5-10 m desde la base hasta por encima del nivel del mar. El medio está bien oxigenado pero no es propicio para la vida marina debido al sustrato en constante movimiento. Este cinturón puede alternar con el CFW 5 (Wilson, 1975).

Es posible encontrar en estos carbonatos cristales de apatita como resultado del remplazamiento de fragmentos de huesos y dientes de peces en depósitos lag† como productos alóctonos (Wilson, 1975). En este trabajo se encontraron algunas muestras con estos cristales pero en el CFW 4 de Flanco arrecifal (VIZP4).

• CFW 7 - Laguna de circulación abierta

Muestras número: VIZP8, VIZP9, VIZP27 y VIZP28.

* Periodo de desarrollo arrecifal con una duración de 340 mill. de años (James, 1983)

† Indica condiciones marinas reductoras.

MFS: 8, 9, 10 y 17

Dentro de este cinturón de facies se pueden distinguir según la clasificación textural de Dunham (1962) "mudstone", "grainstone" y "wackestone" bioclástico y "packstone" de foraminíferos bentónicos. Según la clasificación de Folk (1959, 1962) se tiene micrita fosilífera que corresponde a la Microfacies Standard 9 (VIZP8) cuyo contenido fósil radica en fragmentos de bivalvos y pellets; bioesparita escasamente lavada que corresponde a la Microfacies Standard 10 (VIZP9), con presencia de fenestras, foraminíferos bentónicos, pellets, gasterópodos, briozoarios, braquiópodos y ostrácodos; bioesparita mal sorteada correspondiente a la Microfacies Standard 17 (VIZP27) que contiene bivalvos, intraclastos, algas verde-azules, braquiópodos, esponjas, gasterópodos y ostreidos; y biomicrita dispersa que corresponde a la Microfacies Standard 8 (VIZP28) que contiene gusanos tubícolas, gasterópodos y bivalvos.

En esta facies se encuentra la laguna de circulación abierta en la que se observa la presencia de fenestras perimareales y carbonatos criptalgales que reflejan periodos de somerización de la laguna hasta niveles de marea. Esta zona del post-arrecife se encuentra en la parte protegida, en donde el lodo formado en la parte arrecifal se libera de suspensión; esto junto con el crecimiento prolífico de fauna bentónica productora de arena y lodo, como algas calcáreas verdes, braquiópodos, ostrácodos, entre otros, resulta en litologías ricas en lodo (James & Bourque, 1993).

Estos medios se pueden encontrar en estrechos, lagunas abiertas y bahías junto al borde de la plataforma externa (Wilson, 1975). El sedimento es de aguas tranquilas y tibias (carbonato de calcio puro), en o debajo de la base normal de las olas y contiene fósiles de infauna y epifauna. La profundidad es somera debido a la presencia de carbonatos de medios restringidos, la salinidad es variable (debido a la ausencia de equinoideos) entre 37-45 partes por millón (ppm) y la circulación es moderada.

Debido al contenido de algas verde-azules, codiáceas filamentosas y dasicladáceas se estima una profundidad de 10 a 15 metros cuando mucho. La presencia de ostrácodos y briozoarios señalan un ambiente tranquilo. La asociación de algas codiáceas y foraminíferos bentónicos indican aguas someras dentro de la zona fótica. Los biostromas de rudistas requiénidos se encuentran siempre en estos sedimentos micríticos, casi siempre asociados a otros grupos como los rudistas caprinidos, algas dasicladáceas y miliólidos.

• **CFW 8 - Plataforma de circulación restringida y llanuras de marea.**

Muestras número: VIZP23, VIZP24, VIZP25 y VIZP26.

MFS: 16 y 19

De acuerdo con este cinturón de facies es posible distinguir según la clasificación textural de Dunham (1962): "wackestone" de foraminíferos bentónicos, "mudstone" y "wackestone" bioclástico. Según la clasificación de Folk (1959, 1962) se tiene biomicrita dispersa que corresponde a la Microfacies

Standard 16 (VIZP23) y cuyo contenido fósil radica en miliólidos, ostrácodos, peloides y granos de cuarzo; micrita la que corresponde a la Microfacies Standard 19 (VIZP24) con contenido fósil de foraminíferos bentónicos; biomicrita dispersa que en este caso corresponde a la Microfacies Standard 19 (VIZP25 y VIZP26) con contenido fósil de foraminíferos bentónicos, ostrácodos, rudistas requiénidos, gasterópodos y laminaciones de algas verde-azules.

Este cinturón de facies incluye sedimento fino con algunos peloides, oncoides y fabrica algal porosa. Se encuentra en estanques y lagunas someras de agua tranquila, además de sedimento más grueso de foraminíferos y algas dasicladáceas con matriz lavada, en canales y barras de marea y playas locales y en todo el complejo de los medios de llanuras de marea (Wilson, 1975).

La fauna común a estos depósitos de bahías restringidas y estanques, incluye ostrácodos, foraminíferos bentónicos, gasterópodos y algas.

La ausencia de equinoideos indica una mayor salinidad marina (>45 ppm), la ausencia de braquiópodos, briozoarios y algas verdes son indicadores de aguas cálidas con nutrientes escasos y la presencia de ostrácodos habla de medios tranquilos.

Sólo algunos rudistas principalmente requiénidos* y pocos radiolítidos (junto con algas dasicladáceas, miliólidos y abundancia de "grapestone") forman parte importante del medio de la laguna marina restringida y medios intermareales del Cretácico, gracias a su capacidad para resistir cambios frecuentes en salinidad y temperatura.

Se tienen también zonas de laminación fenestral, que es producto de la desecación en áreas de llanuras de mareas, donde las inundaciones se combinan con una exposición máxima.

Debido a la presencia de algas verde-azules, se estima una profundidad que va desde la zona intermareal hasta los 15 m de profundidad máxima. Además, por los sedimentos carbonatados marinos de ambiente restringido y evaporitas, se puede determinar que la laguna interna era relativamente somera.

* Asociados a algas estromatolíticas en la zona intermareal.

En el banco calizo El Doctor se reconocieron 11 Microfacies Standard:

1. "Floatstone" bioclástico - Estratificación mediana a masiva, color gris, con fragmentos de bivalvos (ostreidos, rudistas caprinidos y radiolíticos) y gasterópodos (MFS 5) (Figura 74).
2. "Rudstone" bioclástico - Estratificación gruesa a masiva, color gris, con fragmentos de bivalvos (ostreidos, rudistas caprinidos y radiolíticos), gasterópodos y briozoarios (MFS 6) (Figura 75).
3. "Boundstone" - Estratificación masiva, color gris oscuro, con laminación de algas incrustantes y verde-azules, foraminíferos bentónicos y fragmentos de bivalvos incrustados (MFS 7) (Figura 76).
4. "Wackestone" bioclástico - Estratificación masiva, color gris claro, fragmentos de rudistas y gasterópodos (MFS 8) (Figura 77).
5. "Mudstone" bioclástico - Estratificación gruesa, color gris claro, fragmentos de rudistas requiénidos y pellets (MFS 9) (Figura 78).
6. "Packstone" de miliólidos - Estratificación masiva, color gris, con rudistas requiénidos y gasterópodos (MFS 10) (Figura 79).
7. "Grainstone" de miliólidos - Estratificación gruesa, color gris, con saccamínidos y rudistas requiénidos (MFS 11) (Figura 80).
8. "Packstone" peloidal - Estratificación masiva, color gris claro, con algas dasicladáceas, litoclastos y bioclastos (MFS 14) (Figura 81).
9. "Wackestone" de miliólidos - Estratificación mediana, color gris verdoso, con contenido fósil de ostrácodos, peloides y granos de cuarzo (MFS 16) (Figura 82).
10. "Grainstone" bioclástico - Estratificación masiva, color gris claro, con intraclastos, fragmentos de bivalvos, gasterópodos y algas (MFS 17) (Figura 83).
11. "Mudstone" y "wackestone" de miliólidos y bioclastos - Estratificación masiva, color gris claro, gris verdoso, con ostrácodos, saccamínidos y gasterópodos (MFS 19) (Figura 84).

Las 3 primeras junto con la 7 y 8 corresponden a la Facies Cerro Ladrón y las 6 restantes a la Facies El Angel de la Formación El Doctor (Figura 85).

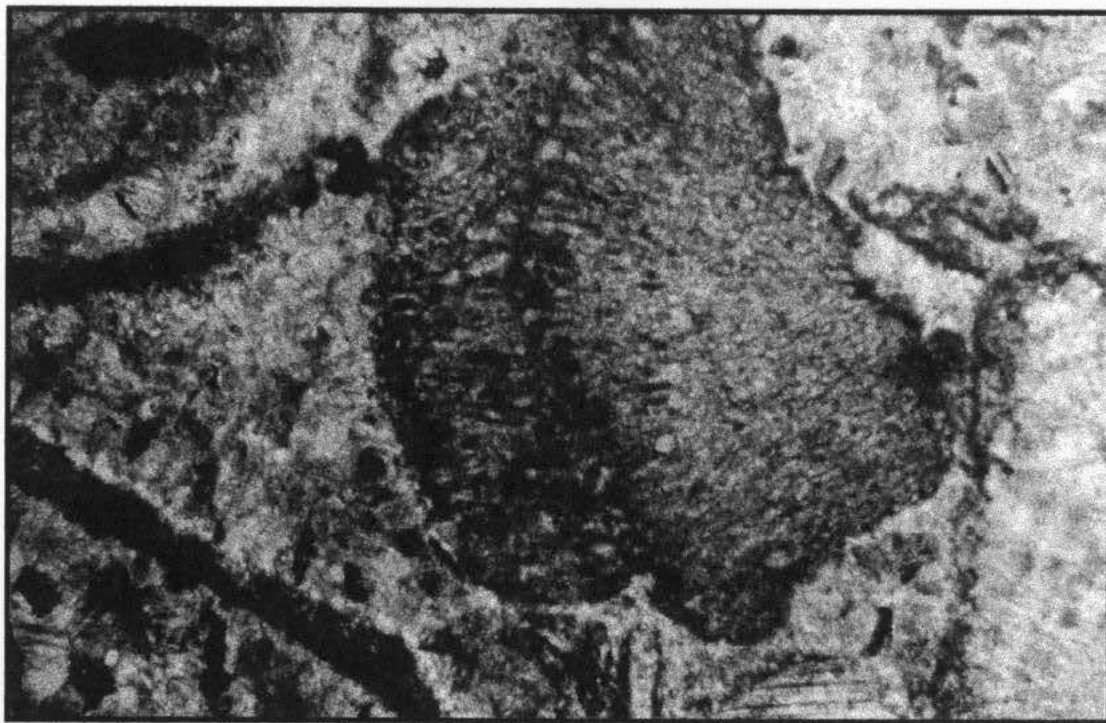


Figura 74. - Micrografía de la Microfacies 1 - "Floatstone" bioclástico: alga al centro, derecha: bivalvos arriba y abajo, izquierda: arriba gasterópodo y abajo alga (VIZP3) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

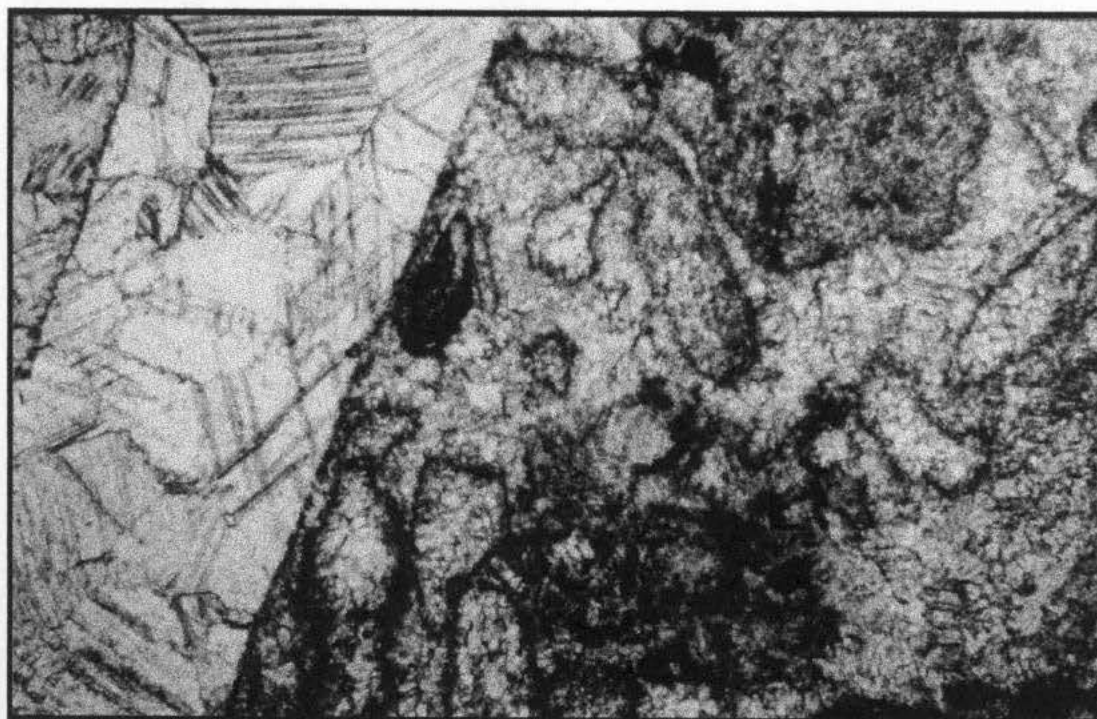


Figura 75. - Micrografía de la Microfacies 2 - "Rudstone" bioclástico: bioclastos varios (VIZP33) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

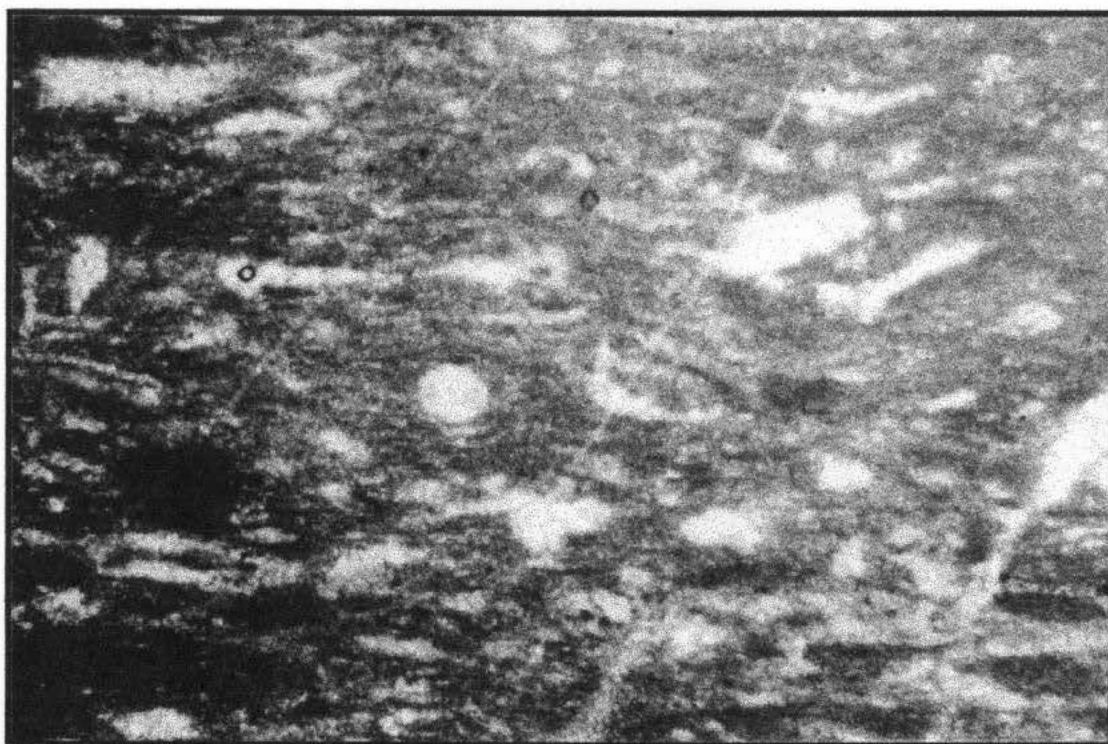


Figura 76. - Micrografía de la Microfacies 3 - "Boundstone": "bindstone" con espículas de esponjas y bioclastos (VIZP31) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

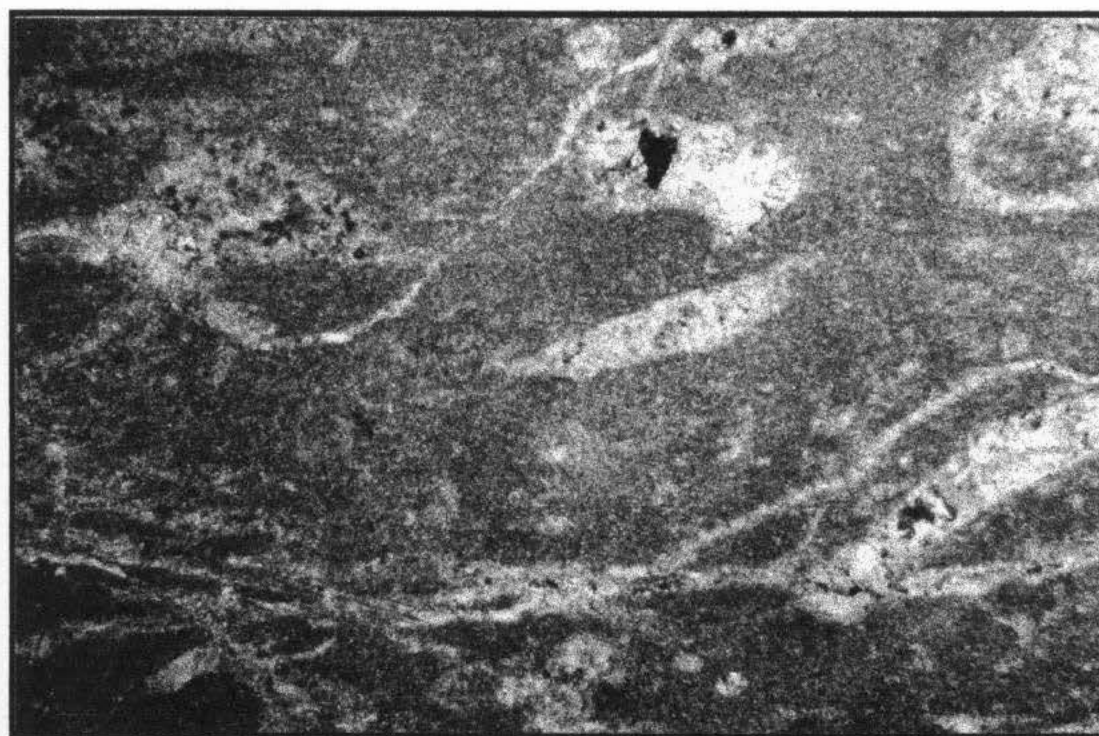


Figura 77. - Micrografía de la Microfacies 4 - "Wackestone" bioclástico: bioclastos y miliólidos recristalizados (VIZP28) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

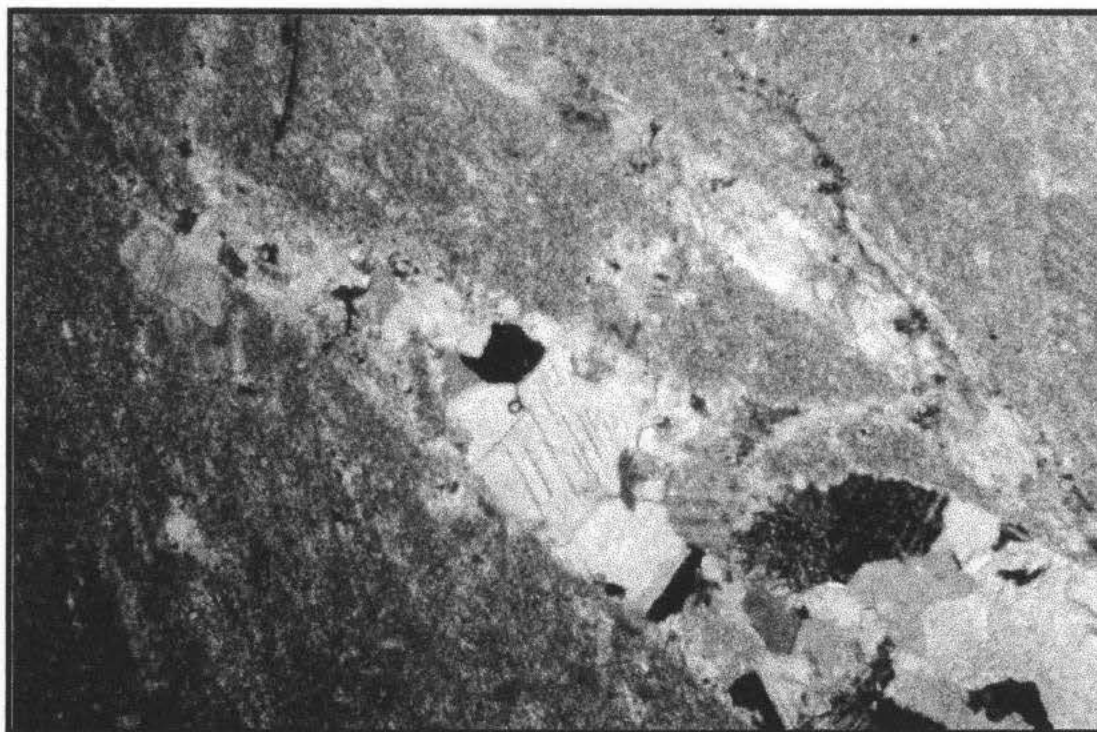


Figura 78. - Micrografía de la Microfacies 5 - "Mudstone" bioclástico: fragmento de rudista (VIZP8) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

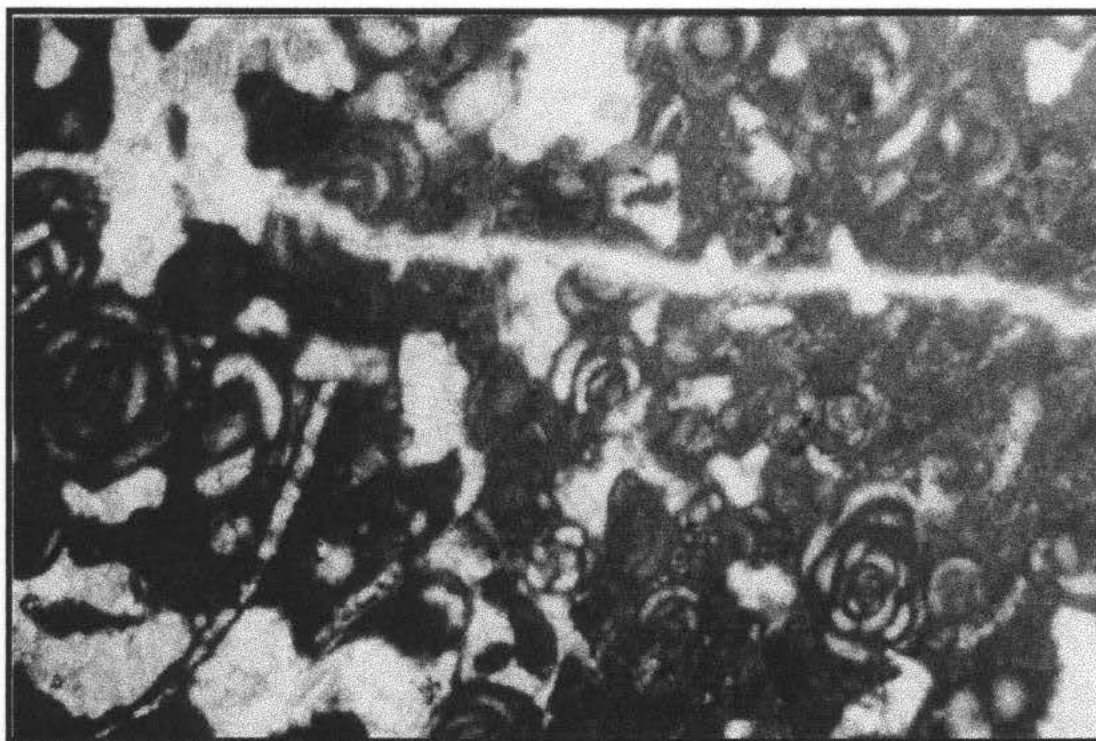


Figura 79. - Micrografía de la Microfacies 6 - "Packstone" de miliólidos (VIZP9) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

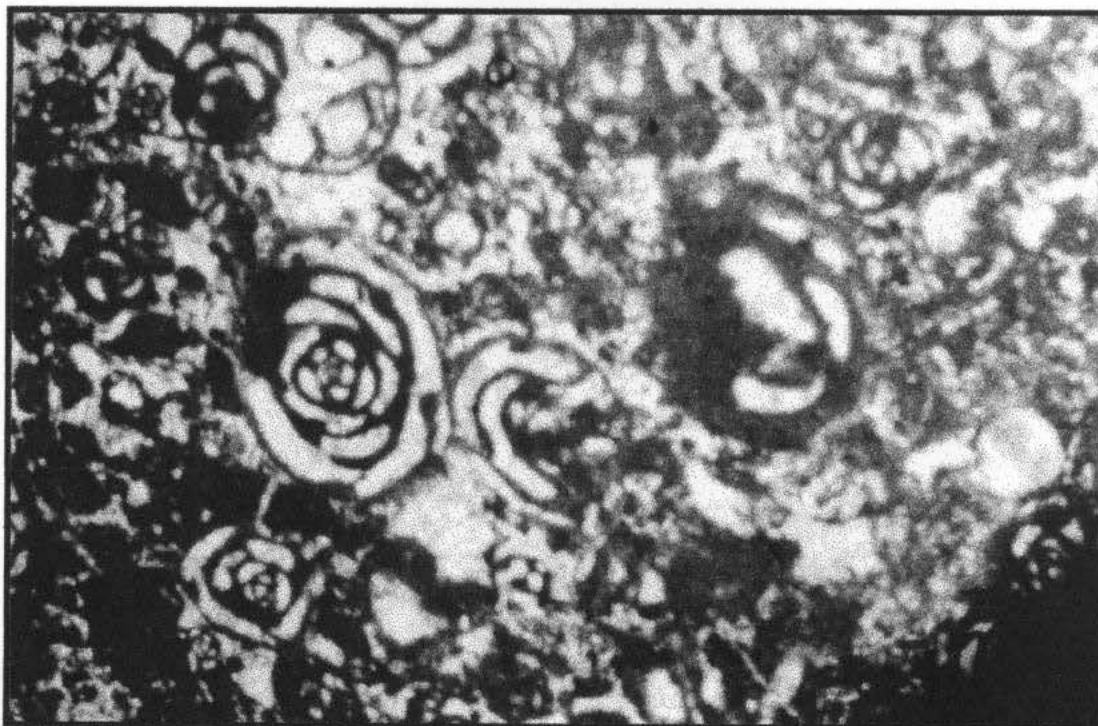


Figura 80. - Micrografía de la Microfacies 7 - "Grainstone" de miliólidos (VIZP7) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

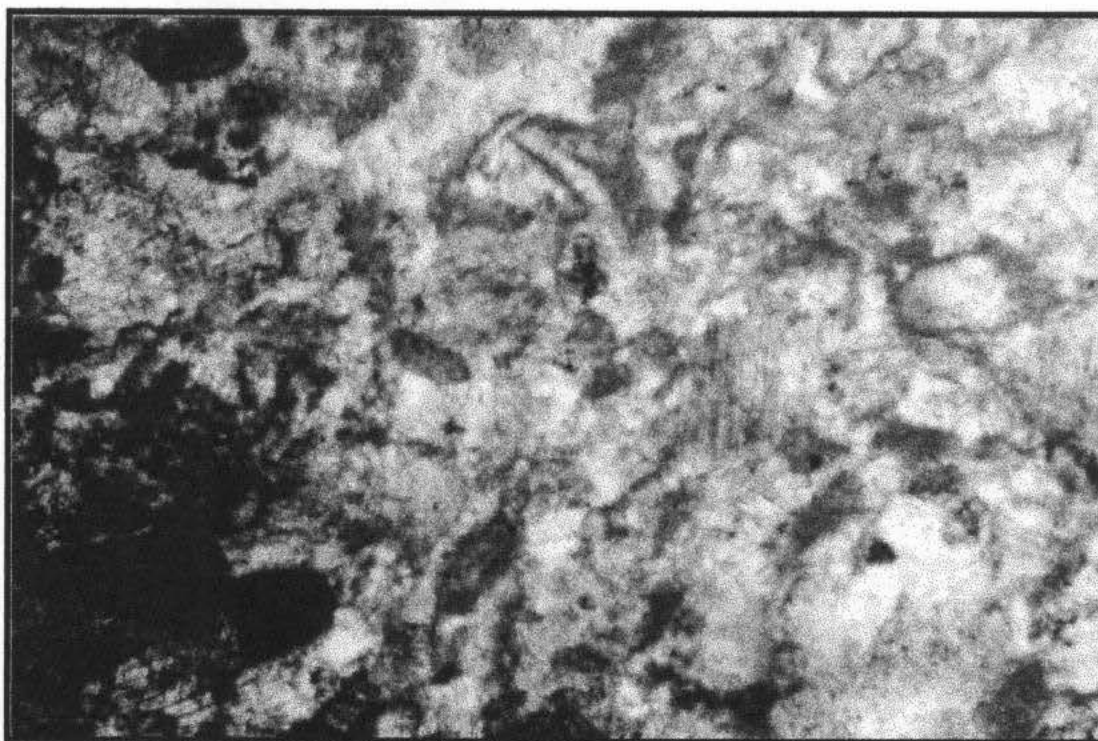


Figura 81. - Micrografía de la Microfacies 8 - "Packstone" peloidal: bioclastos, litoclastos y peloides (VIZP29) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

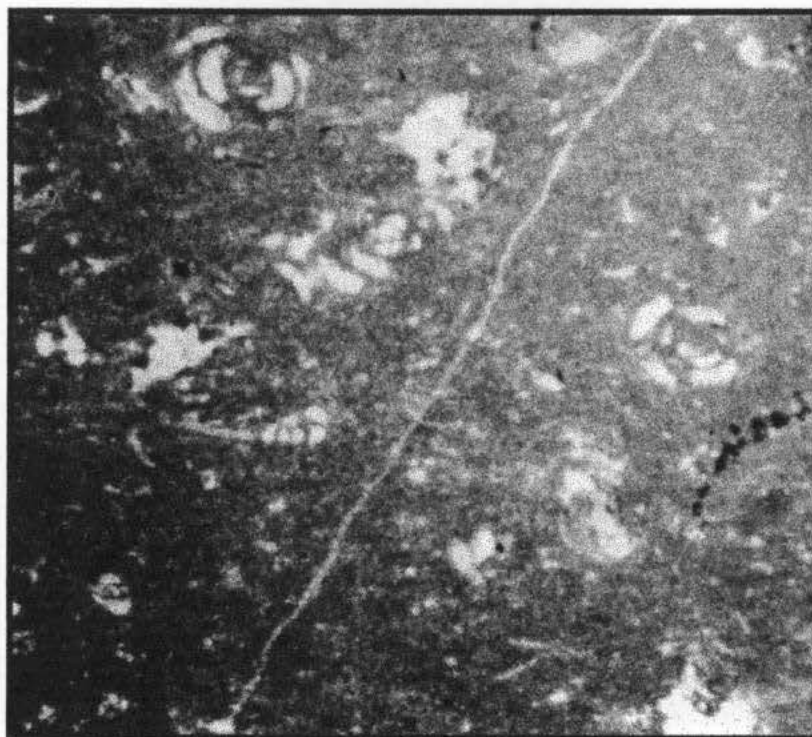


Figura 82. - Micrografía de la Microfacies 9 - "Wackestone" de miliólidos: peloides y ostrácodos (VIZP23) (Canto inferior de fotografía 2.6 mm, 2.5x).



Figura 83. - Micrografía de la Microfacies 10 - "Grainstone" bioclástico: gasterópodo con relleno geopetal y abajo fragmento de bivalvo (VIZP27) (Canto inferior de fotografía 3.4 mm, 2.5x).

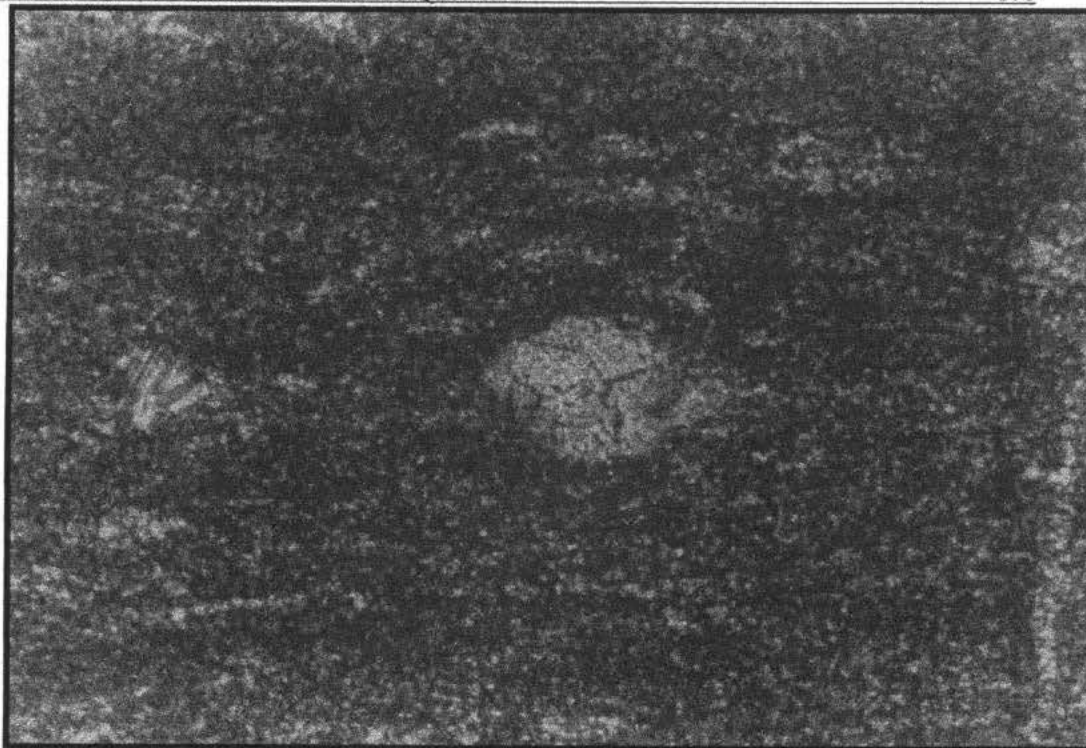


Figura 84. - Micrografía de la Microfacies 11 - "Mudstone" de miliólidos: foraminíferos bentónicos recristalizados (VIZP24) (Canto inferior de la fotografía 2.1 mm, 5x).

16.3.1. - MODELO DE PLATAFORMA AISLADA

De acuerdo con el modelo de facies de plataformas carbonatadas según Read (1985), este banco calizo corresponde al modelo de plataforma aislada (Figura 86). Esta paleogeografía que alcanza anchuras decakilométricas a incluso hectakilométricas, puede estar localizada sobre rifts continentales y rodeada por agua profunda. Estas se formaron como producto de las transgresiones del Albiano-Cenomaniano, a partir de rampas sobre las que se desarrollaron rápidamente plataformas.

Una diferencia importante entre las plataformas aisladas y otros tipos de plataforma radica en que los márgenes difieren ligeramente ya sean de barlovento o sotavento (Mullins & Newmann, 1979). En este caso es posible que los márgenes de barlovento hayan sido cerrados, con barreras de energía que provocaron una gran acumulación de esqueletos en el interior. Los márgenes de sotavento por su parte debieron estar también cerrados, pues carecen de arenas peloidales que pudieran estar saliendo del banco. No presentaba márgenes dominados por mareas pues el interior carece de arenas con oncoides que pudieran estar migrando dentro del banco.

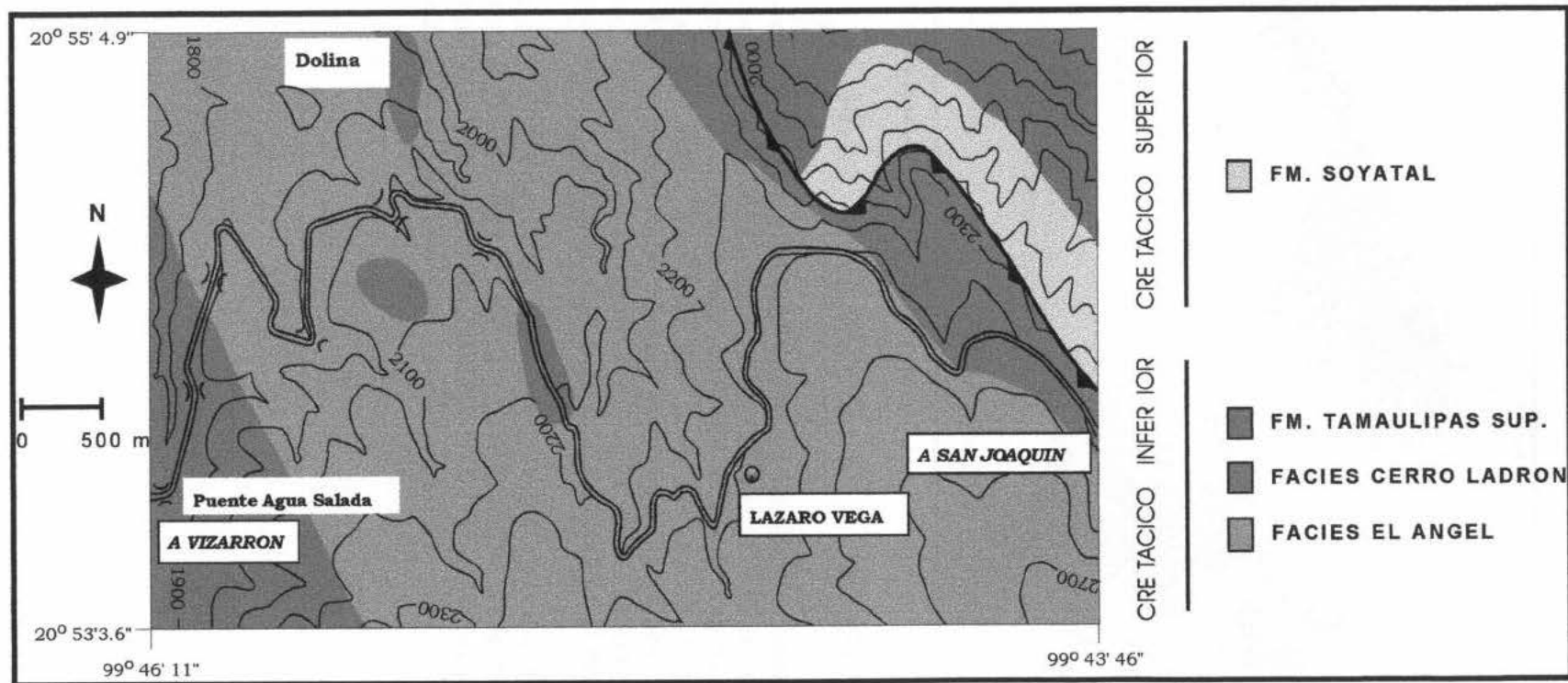


Figura 85 -Ubicación de las Facies El Angel y Cerro Ladrón en la Fm. El Doctor. Modificado de Carrillo-Martinez, 1997.

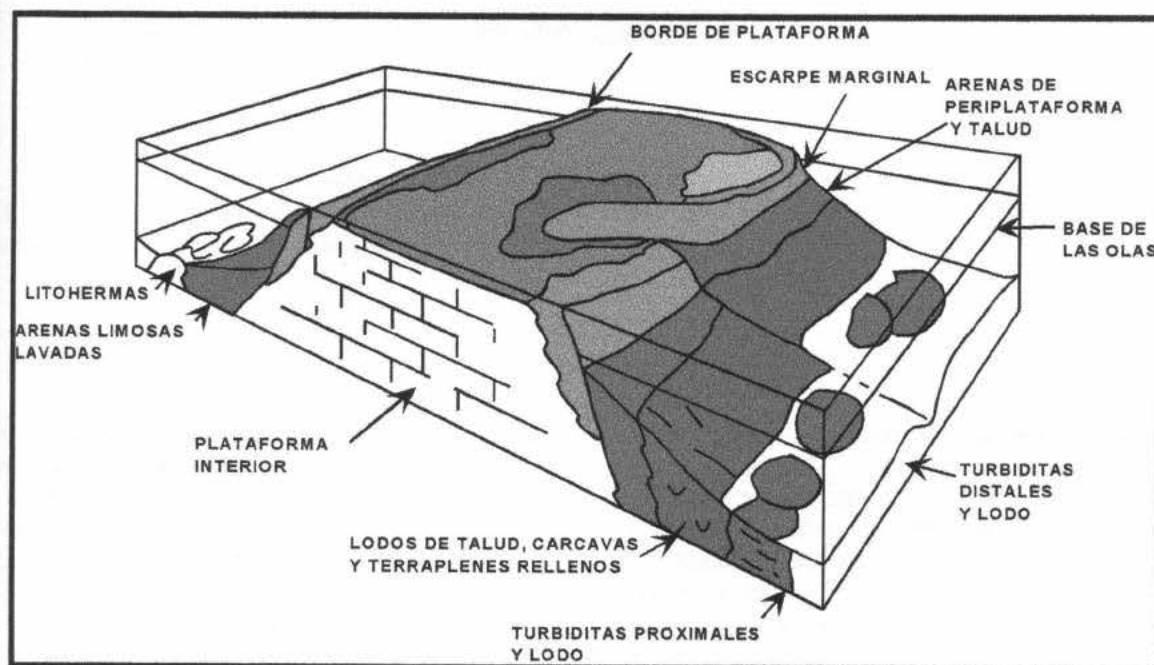


Figura 86 - Modelo idealizado de plataforma aislada. Modificado de Read, 1985.

16.3.2. -EVOLUCIÓN DE LA PLATAFORMA

La mayoría de las plataformas aisladas en márgenes continentales pasivos, parecen desarrollarse en corteza transicional o continental con rápida subsidencia (Mullins & Lynts, 1977) durante las primeras fases de apertura de las cuencas oceánicas. Muchas están sobreyacidas por carbonatos regionales de aguas someras y se localizan sobre horsts, siendo los grabens sitios de depositación de agua profunda. Algunos otros se desarrollan sobre niveles estructurales altos en el interior del continente durante periodos de aumento del nivel del mar.

Inicialmente, algunas plataformas aisladas pueden tener talud como rampa, pero éste con el tiempo puede desarrollar en un margen de alto relieve. La subsidencia junto con la construcción vertical de la plataforma, crea relieves de los grandes bancos hacia las cuencas.

16.4. - LISTA DE ORGANISMOS FÓSILES DE LA FM. EL DOCTOR.

En el caso del banco calizo El Doctor se presenta un listado de organismos registrados en el área, durante el desarrollo de este estudio, y como se podrá notar, gran parte de ellos se encuentran en ambas localidades.

- **Algas rojas**

- **Algas verdes**

1. Algas codiáceas

Halimeda sp.

2. Algas dasicladáceas

3. Calcisferúlidos

- **Algas verde-azules**

- **Braquiópodos**

Terebratulídeos

- **Briozoarios**

- **Corales**

Escleractínidos

- **Equinoideos**

- **Eponjas**

Calcáreas

- **Foraminíferos bentónicos**

1. **Ataxofrágmidos**

Spiroplectinata sp. Cushman, 1927

2. **Barkerinidos**

Barkerina barkerensis Frizzel & Schwartz, 1950

3. **Orbitolínidos**

Dictyoconus walnutensis Carsey, 1926

4. **Rotálidos**

5. **Saccamminidos**

Psammosphaera sp. Schulze, 1875

- **Gasterópodos**

Nerinea sp.

- **Gusanos tubícolas**

- **Ostrácodos**

- **Bivalvos**

1. **Ostreidos**

2. **Rudistas**

Caprinidos

Kimbleia albrittoni Perkins, 1960

Mexicaprina quadrata Alencáster y Oviedo, 1998

Radiolítidos

Eoradiolites davidsoni Hill, 1893

Radiolites abraensis Coogan, 1973

Requiénidos

Toucasia texana Roemer, 1852

17. - CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE AMBAS ZONAS

C. SUP.	Piso	El Madroño	El Doctor
	Cenomaniano		?
CRETACICO INFERIOR	Albiano	El Abra	El Doctor
		Tamabra	Tamaulipas Superior
	Barremiano		
	Berriasiano	Pimienta	Las Trancas
JURA.	Tithoniano		
	Kimmeridgiano	Taman	

Tabla 15 - Correlación estratigráfica entre la Fm. El Abra y la Fm. El Doctor.

Estos bancos carbonatados del centro de México, pertenecen al Cretácico "Medio", al igual que los de Tolimán, Actopan y la Faja de Oro. Se puede ver que la Formación El Doctor sobreyace a la Formación Las Trancas (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) (Suter, 1990), formada por margas, lutitas y calizas arcillosas con areniscas, tobas y conglomerados subordinados, que aflora al este del área, en el anticlinorio El Piñón; lateralmente cambia a la Formación Tamaulipas Superior (Cretácico Inferior) formada por calizas de talud y cuenca (Tabla 15).

La Formación El Abra (Cretácico Inferior), sobreyace concordantemente a la Formación Pimienta (Jurásico Superior - Cretácico Inferior) formada por calizas micríticas, arcillosas y lutitas, interpretadas como depósitos de talud externo de una plataforma carbonatada y esta a su vez sobreyace a la Formación Tamán (Jurásico Superior), formada por calizas pelágicas. Lateralmente la Formación El Abra cambia hacia la cuenca a la Formación Tamabra (Cretácico Inferior), que se estableció para designar a los carbonatos de talud de la plataforma carbonatada Valles-San Luis Potosí y luego cambia a la Formación Tamaulipas Superior o Formación Ahuacatlán (Muir, 1936) perteneciente al Cretácico Inferior, con depósitos de cuenca formados por caliza micrítica con intercalaciones de bentonita (Suter, 1990).

Las facies de la Formación El Doctor son muy parecidas a las de la Formación El Abra, a excepción de la ausencia o reducido número de corales en la primera, en general la mayoría de las especies registradas se encuentran en ambas zonas. En la Plataforma El Doctor se encontraron, además, unas exposiciones discontinuas de facies Cerro Ladrón en la parte central de la facies El Angel que según Ward (1979b) podrían deberse a estratos más jóvenes sobre la facies lagunar, producto de una transgresión mientras el borde de plataforma permanecía estable, sufriendo una erosión posterior.

La Formación El Doctor ha sido datada por medio del estudio de la estructura de la pared de los rudistas (Ward; 1979b) que son similares a los encontrados en la Plataforma Valles-San Luis Potosí por Coogan (1973), por lo que de acuerdo al género *Mexicaprina* de los rudistas caprinidos y a la especie de *Caprinuloidea gracilis* (Coogan, 1973) se dató en edad albiana-cenomaniana. Esta edad es muy amplia pues no se han realizado estudios detallados de microfósiles en esta zona que pudieran precisar ese dato. La edad de la Formación El Abra, se ha datado en Albiano "Medio"-Tardío, de acuerdo con las especies de rudistas y microfósiles estudiados (Alencáster y Oviedo, 1998; Alencáster, 1998; Rosales-Domínguez, 1998).

18. - CONCLUSIONES

- Cumpliendo con los objetivos de este trabajo, se realizó una carta geológica, escala 1:10,000 de la localidad de El Madroño (anexa al final), que muestra los aspectos faciales y estructurales de la zona. Tiene relevancia como una localidad fosilífera excepcional de rudistas conocida a escala mundial en esa rama de la paleontología, debido principalmente a que los fósiles se pueden extraer enteros con suma facilidad. Esta carta también es importante en el aspecto estructural, por la presencia de la cabalgadura Lobo-Cienega (estructura cordillerana del cinturón marginal de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental), que es la mayor de una serie de escamas cabalgadas, paralela al borde de la plataforma, con una longitud de 3,500 m y que parece continuar al norte del área por el flanco occidental del anticlinal Cerro Grande. Existe un acortamiento de la Facies Taninul en la localidad de El Madroño causado por dicha cabalgadura, aunque no debe ser relativamente grande debido a que la secuencia facial/microfacial (CFW 4, MFS 5) no se pierde.

- Las facies de la Formación El Abra son:

a) Facies Taninul (arrecifal) - En esta facies con 15 m de profundidad se encuentran 1) flancos arrecifales, formados por "floatstone" y "rudstone" de bioclastos de rudistas, briozoarios y corales, además de restos de esponjas, equinoideos, etc., que forman un halo marginal al borde de la plataforma con una inclinación de 2°-15°, en donde se pueden encontrar también pináculos arrecifales, productos de la inundación de la plataforma. Las aguas son cálidas y con salinidad normal. 2) Bioconstrucciones formadas por "framestone" de briozoarios y rudistas y "bindstone" algal en un medio de energía moderada a alta, en aguas cálidas con circulación abierta y salinidad normal. Existen acumulaciones de rudistas dispersos y en posición de crecimiento. De acuerdo con la etapa de diversificación en que se encuentra la bioconstrucción, esta pertenece al grupo de los arrecifes y no al de los montículos como se pensaba anteriormente. La zona estuvo sujeta a intervalos de emersión prolongados debido a la presencia de depósitos de bauxita. 3) Borde arenoso formando bajíos de arena bien lavada con oleaje moderado, constituido por "rudstone" bioclástico. El desgaste de los fragmentos indica un transporte desde el medio inmediato anterior. Debido al sustrato cambiante el medio no es apto para la vida marina.

b) Facies El Abra - Esta facies con una profundidad entre 3-15 m, corresponde a medios de lagunas abiertas, con aguas someras y cálidas, salinidad normal y circulación moderada dentro de la zona fótica, donde se encuentran organismos sésiles, contenido de infauna y epifauna, con bioturbación.

Estanques cerrados, lagunas someras y llanuras de mareas con canales de marea, biostromas de rudistas requiñidos, miliólidos y carpetas algales, en aguas tranquilas.

- En la Formación El Doctor, existen 2 facies (Wilson *et al.*, 1955; Ward, 1979b):

a) Facies Cerro Ladrón (arrecifal) - En esta facies con una profundidad entre 15 y 45 m, se encuentran 1) flancos arrecifales - Formados por bioclastos de organismos del borde de plataforma, con una inclinación entre 2°-15°. Están formados principalmente por "floatstone" y "rudstone" de rudistas (60%), gasterópodos y ostreidos (40%). 2) Bioconstrucciones de rudistas caprinidos y radiolitidos y varios tipos de algas y una ausencia casi total de corales, formadas por "bindstone" algal, en aguas cálidas y someras en la zona fótica, con diversidad baja, en un medio de energía moderada a alta. 3) Borde arenoso formado por "grainstone" de miliólidos y "wackestone" peloidal con oleaje constante, agua somera y ausencia de vida marina debido al movimiento del sustrato y alta energía.

b) Facies El Angel (post-arrecifal) - En esta facies con una profundidad de 0-15 m, se encuentran las lagunas con circulación moderada, estanques y llanuras de mareas, en donde se registran periodos de somerización, con sedimentos de aguas tranquilas, someras y tibias, con salinidad variable, organismos de infauna y epifauna, ostrácodos, foraminíferos bentónicos, gasterópodos y algas en un medio intermareal.

- En la Formación El Abra, las facies que la constituyen han sido datadas recientemente en edad Albiano "Medio"-Tardío (Buitrón *et al.*, 1995; Alencáster, 1998), mientras que para la Formación El Doctor aún no se han hecho estudios micropaleontológicos que den una edad más precisa. Aunque es muy posible que debido a la presencia de gran cantidad de especies iguales en ambas plataformas (principalmente hablando de rudistas) correspondan a la misma edad.
- Se puede comentar que la facies arrecifal en ambas Formaciones es muy semejante en cuanto a contenido fósil (el que ha sido determinado hasta la fecha) aunque la presencia de corales en la Formación El Abra es abundante, mientras que en la Formación El Doctor se encontró una sola muestra de los mismos.
- De acuerdo con las microfacies encontradas para la facies arrecifal con los cinturones de facies de Wilson (CFW) 4, 5 y 6, se encontraron ligeras variaciones, obteniendo 5 microfacies (4, 5, 6, 7 y 12) para la Formación El Abra y 5 (5, 6, 7, 11 y 14) para la Formación El Doctor. Esto puede deberse a la diferencia en el número de muestras estudiadas (38 para El Madroño y 10 para El Doctor) o/y a que pertenecen a un tipo distinto de plataforma (plataforma aislada El Doctor y plataforma aislada inundada* Valles-San Luis Potosí) según Read (1985).

La facies lagunar es muy parecida en ambas plataformas, tanto en litología como en contenido fósil, excepto que en la Formación El Abra se encontró un espesor aproximado de 250 m de dolomías en la base de la misma (camino a Tres

* Este modelo, junto con la presencia de las brechas de talud de la Fm. Tamabra contraponen los resultados encontrados en Lara-Corona *et al.* (1998).

Lagunas), además de una repetición cíclica de los CFW 7 y 8, lo que puede indicar una variación en el nivel del mar, seguramente asociado a las transgresiones registradas durante el Albiano. Las microfacies encontradas varían ligeramente para los cinturones de facies de Wilson (CFW) 7 y 8, obteniendo 5 microfacies (9, 10, 17, 19 y 24) para la Formación El Abra y 6 (8, 9, 10, 16, 17 y 19) para la Formación El Doctor. Esto puede deberse a que pertenecen como ya se mencionó a un tipo diferente de plataforma, ya que se estudiaron muchas más muestras en El Madroño (32 láminas) que en El Doctor (8 láminas).

Wilson (1975) reconoce algunos tipos de microfacies, recopilando datos de varios autores que han trabajado en diversas plataformas del Cretácico "Medio" de México y sur de Texas (incluyendo las Plataformas Valles-San Luis Potosí y El Doctor).

Para la facies post-arrecifal Wilson (1975) reconoció las MFS 16, 18, 19, 20 y 23. Minero (1983a, 1983b, 1988) encontró, además, la MFS 13. Estos datos coinciden con los obtenidos en este trabajo sólo en la MFS 19, para la Formación El Abra y en la MFS 16 y 19, para la Formación El Doctor.

Para la facies arrecifal Wilson (1975) menciona las MFS 4, 5, 7 y 11, que coinciden con las obtenidas en este trabajo en el área de El Madroño, más la MFS 6 y 12, excluyendo la MFS 11; en El Doctor no se encuentra la MFS 4, pero las demás sí. Estas diferencias se pueden explicar considerando que, lo que Wilson recopiló, corresponde a datos de varias plataformas, que como ya se ha mencionado, no todas han evolucionado de la misma manera por lo que no es conveniente generalizar los datos.

- Se levantaron secciones estratigráficas en ambas áreas, obteniendo una columna estratigráfica local simple para El Madroño de 517 m de espesor, perteneciente a la facies El Abra de la Formación El Abra (con lo que se ha podido estimar un espesor total para dicha Formación de 2,750-3,000 m) y una sección estratigráfica compuesta local para la Formación El Doctor, que consta de 9 columnas parciales complementarias que suman 407 m de espesor, con sedimentos carbonatados de las facies de borde y de interior de plataforma de la misma Formación (Figuras 24 y 86).
- De acuerdo con los levantamientos de dichas secciones, se pudo constatar que no existen niveles de litologías especiales dentro de los bancos para hacer una correlación litoestratigráfica ni bioestratigráfica, debido a que ambas áreas son contemporáneas y pertenecen posiblemente a un mismo piso geológico; de acuerdo con esto, se estableció solamente la correspondencia como superficies isócronas, considerando la presencia de especies de rudistas datados con precisión. De este modo se ha logrado ampliar el conocimiento estratigráfico de estas zonas.
- La correlación estratigráfica entre las columnas de las áreas de El Madroño y El Doctor es muy semejante, sin embargo, en la Formación El Abra, se encuentra la facies pre-arrecifal o Formación Tamabra, que cambia hacia la cuenca a la Formación Ahuacatlán o Tamaulipas Superior, con depósitos de cuenca; mientras que la Formación El Doctor engloba los depósitos de talud y

cuenca dentro de la Formación Tamaulipas Superior. También hay que mencionar que en ambas columnas la Formación Cuesta del Cura es lateralmente equivalente a los cuerpos carbonatados conteniendo depósitos de cuenca.

- El análisis bioestadístico se llevó a cabo en la zona más importante desde el punto de vista paleontológico en el área de El Madroño, tanto de exposición de material fósil, como de nivel de conservación y agrupación de individuos. Esta zona pertenece al CFW 5 y a la MFS 12 que corresponde a "plataforma en agua agitada", que se localiza a un lado de la construcción orgánica, por lo que existe una gran diversidad de grupos y especies mezclados y con una conservación excelente y sin rastros de maltrato en sus estructuras.

La población de organismos con mayor densidad (tanto por tamaño como por número), menor dispersión y mayor frecuencia es la de los rudistas, seguida en orden de importancia por la de gasterópodos y corales en cuanto a frecuencia.

La conservación de los fósiles es muy buena en general, aunque en algunos cuadros de muestreo había gran cantidad de bioclastos, lo que indica que algunos puntos concretos sí estaban sujetos a medios de alta energía y transporte.

La distribución general de los organismos fósiles esta dada al azar, lo que es raro en la naturaleza y se necesita un medio muy uniforme. Ningún grupo influía negativamente sobre los demás o existía un antagonismo positivo que provocara un espaciamiento regular.

En cuanto a la orientación de los grupos, se encontraron 2 orientaciones preferenciales **NE** (37°) y **NW** (157°). Se observó una orientación más definida para los grupos de gasterópodos y equinoideos (espinas), que resultan ser los grupos de menor tamaño y peso y que pueden ser mas fácilmente orientados por las corrientes; para el caso concreto de los rudistas no se encontró un patrón con alguna orientación preferente.

- Finalmente, con los datos obtenidos en este trabajo, se puede concluir que el banco calcáreo El Doctor y la Plataforma Valles-San Luis Potosí constituyen plataformas individuales, pero seguramente contemporáneas, con asociaciones faunísticas muy similares y cuya formación se llevó a cabo bajo condiciones semejantes, pero que fueron evolucionando en forma distinta debido a los cambios eustáticos del nivel del mar durante el Cretácico "Medio" que provocaron un crecimiento y depositación dispar, aunado a que fueron sujetas a rangos de subsidencia diferente y a que los cambios de facies se efectuaron en forma gradacional o abrupta.

19. - BIBLIOGRAFÍA

- Adams, A.E., Mackenzie, W.S. & Guilford, C. 1997. Atlas de rocas sedimentarias. Ed. Masson. 106 p. España.
- Adkins, W.S. 1930. New rudistids from the Texas and Mexican Cretaceous. Univ. Texas Bull. 3001. p. 77-100. U.S.A.
- Aguayo-Camargo, J.E. 1978. Sedimentary environments and diagenesis of a Cretaceous reef complex, eastern Mexico. Anales Instituto Ciencias del Mar y Limnología. 5:83-140. México.
- Aguilar, J., Oviedo, A. y Pichardo, Y. 1997. Rudistas caprinidos, monopléuridos y requiénidos (Bivalvia extinta-Hippuritacea) del Cretácico Medio de la región de El Madroño, Municipio de Landa de Matamoros, Qro. Tesis de Biología, Univ. Autónoma de Qro. México.
- Alencáster, G. 1987. Fauna arrecifal del Albiano tardío de la región de Jalpan, Querétaro, México. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Univ. Autónoma de Nuevo León. 2:111-119. México.
- Alencáster, G. 1988. Middle Cretaceous Rudists from Central Mexico. First Int. Conf. on Rudists. Abstracts: 2. Belgrade.
- Alencáster, G. 1991a. El Madroño, localidad de Rudistas excepcional del Cretácico medio del estado de Querétaro, parte central de México. Convención sobre la Evolución Geol. de México (Pachuca, Hgo.). Mem. 7-9. México.
- Alencáster, G. 1991b. Middle Cretaceous rudists from Central Mexico. Proc. 1st. Int. Conf. on Rudists. Serbian Geol. Soc. Spec. Publ. 2. Beograd. p. 21-39. Serbia.
- Alencáster, G. 1998. New caprinid rudist genera *Guzyella* and *Muellerriedia* (Bivalvia-Hippuritacea) from the Albian (Cretaceous) of Central Mexico. Rev. Mex. de Ciencias Geol. v. 15. n. 1. p. 91-105. México.
- Alencáster, G. and Aguilar, J. 1993. A new rudist (Bivalvia-Hippuritacea) from the mid-Cretaceous of Central Mexico. Third Int. Conf. on Rudists. Proc: 5-6. México.
- Alencáster, G. y Aguilar, J. 1996. *Jalpania queretana*, a new rudist (Bivalvia-Hippuritacea) from the mid-Cretaceous of Central Mexico. Rev. Mex. de Ciencias Geol. v. 12. n. 2. p. 117-122. México.
- Alencáster, G. y Guzy A.T. 1984. Rudistas de El Madroño, Qro. III Cong Latinoamericano de Paleont., Sesión de Cartel. México.
- Alencáster, G. y Oviedo A. 1998. Re-examination of the genera *Texicaprina* Coogan, *Mexicaprina* Coogan, and *Kimbleia* Coogan (Caprinid Rudists) from the Albian of Central Mexico. Soc. Mex. de Paleont. v. 8. n. 2. p. 163-179. México.
- Barnetche, A. & Illing, L.V. 1956. The Tamabra limestone of the Poza Rica Oilfield. Cong. Geol. Int. 38 p. México.
- Becerra, H.A. 1970. Estudio bioestratigráfico de la Formación Tamabra del Cretácico en el distrito de Poza Rica. Inst. Mex. del Petról. v. 2. n. 3. p. 21-25. México.
- Bloxson, W.E. 1972. A lower Cretaceous (Comanchean) prograding shelf and associated environment of deposition, northern Coahuila, Mexico. M.A. Thesis. Univ. Texas. Austin, Tx. 235 p. U.S.A.
- Bodenlos, A.J., Bonet, F. y Segerstrom, K. 1956. Estratigrafía del Cenozoico y del Mesozoico a lo largo de la carretera entre Reynosa, Tamps. y México D.F. Cong. Geol. Int. México.
- Boehm, G. 1899. Beiträge zur Kenntnis mexicanischer Caprinidenkalke, in Felix, J. and Lenk, H. (1889-1899), Beiträge zur Geol. und Paläontologie der Republik Mexico. II Theil. 3 Heft. p. 143-154. Arthur Felix Verlag. Leipzig. Germany.
- Bonet, F. 1952. La facies urgoniana del Cretácico Medio de la región de Tampico. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. v. 5-6. p.157-262. México.

- Bonet, F. 1956. Zonificación microfaunística de las calizas cretácicas del este de México. *Cong. Geol. Int.* 20. 102 p. México.
- Bonet, F. 1963. Biostratigraphic notes of the Cretaceous of eastern Mexico. *Annual field trip Guidebook*, Corpus Christi Geol. Soc. p. 36-48. U.S.A.
- Böse, E. 1906. Excursión de San Luis Potosí a Tampico. *Xe. Cong. Int. México.* n. 11. México.
- Buitrón, B.E., Carrillo-Martínez, M., Rosales-Domínguez, M.C. & Aguilera-Franco, N. 1995. A middle Albian biota (Algae, Foraminifera and Gastropoda) from Ahuacatlán, State of Querétaro, Mexico. *Univ. Nac. Autónoma de México, Inst. de Geol. Rev. Mex. de Ciencias Geol.* v. 12. p. 145-156. México.
- Burchfiel, F. 1982. *Physical Geology*. Ed. Merrill. p. 285-286. U.S.A.
- Camacho, H.H. 1966. *Invertebrados Fósiles*. Ed. Universitaria de Buenos Aires. Argentina.
- Cárdenas-Vargas, J. 1992. Monografía geológico-minera del estado de Qro. Consejo de Recursos Minerales. México.
- Carrasco, B. 1969. Posible importancia económico-petrolera de la brecha litoclástica de la base de la Formación El Doctor en Metztitlán, Hgo. *Inst. Mex. del Petról.* v. 1. p. 70. México.
- Carrasco, B. 1970. La Formación El Abra (Formación El Doctor) en la Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Rev. Inst. Mex. del Petról.* México.
- Carrasco, V.B. 1971. Litofacies de la Formación El Abra en la Plataforma de Actopan, Hidalgo. *Inst. Mex. del Petról.* v. 3. n. 1. p. 5-26. México.
- Carrasco, V.B. 1977. Albian sedimentation of submarine autochthonous and allochthonous carbonates, east edge of the Valles-S.L.P. Platform, Mexico. *Deep water carbonate environments. SEPM Spec. Publ.* 25. p. 263-272. U.S.A.
- Carrillo-Bravo, J. 1969. Exploración geológica y posibilidades petroleras de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. PEMEX. Mesa redonda n. 6. México.
- Carrillo-Bravo, J. 1971. La Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Bol. Asoc. Mex. Geól. Petrol.* México.
- Carrillo-Martínez, M. 1981. Contribución al estudio geológico del macizo calcáreo El Doctor, Querétaro. *Inst. Geol. U.N.A.M.* México.
- Carrillo-Martínez, M. 1989. Estratigrafía y tectónica de la parte centro oriental del Estado de Querétaro. *Rev. Inst. Geol.* v. 9. p. 62-70. México.
- Carrillo-Martínez, M. 1997. Carta Geológica de México. 1:100,000. Hoja Zimapán 14Q-e(7). *Inst. Geol. U.N.A.M.*
- Carrillo, M. y Suter, M. 1982. Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hgo. y Querétaro. Excursión Geológica a la región de Zimapán. México.
- CETENAL. 1974. Cartas geológicas San Pablo Tolimán y San Joaquín, Querétaro, México D.F. Comisión de Estudios del Territorio Nacional, escala 1:50,000.
- CETENAL. 1981. Carta Topográfica 1:50,000. Hoja San Pablo Tolimán. F14-C57, Qro.
- Collins, L.S. 1985. Rudist paleoecology of the Cretaceous El Abra Limestone reef core, central Mexico. Thesis. George Washington Univ. U.S.A.
- Collins, L.S., Kauffman, E.G. & Johnson, C.C. 1988. Rudistid biofacies across El Abra Formation (Late Albian?-early-middle Cenomanian) northeastern, Mexico. *Proc. Of 11th Caribbean Geol. Cong. Barbados.* p. 1-12. U.S.A.
- Contreras-Perez, J. 1993. Distribución de esfuerzos y estabilidad mecánica en las márgenes de plataformas carbonatadas. Unpublished Thesis. U.N.A.M. Unidad Académica de los ciclos profesional y de Postgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades. 56 p. U.S.A.
- Coogan, A.H., Bebout, D.G. & Maggio, C. 1972. Depositional environments and geologic history of Golden Lane and Poza Rica trend, Mexico, an alternative view. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* v. 56. n. 8. p. 1419-1447. U.S.A.
- Coogan, A.H. 1973. New rudists from the Albian and Cenomanian of Mexico and adjacent South Texas. *Rev. del Inst. Mex. del Petról.* v. 5. p. 51-83. U.S.A.
- Cserna, E.C. y Bello, B.A. 1963. Geología de la Sierra de Alvarez, Municipio de Zaragoza, S.L.P. *Inst. Geol. U.N.A.M.* v. 71. p. 23-63. México.

- Cushman, J.A. 1933. Foraminifera, their classification and economic use. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research. Spec. Publ. 4. U.S.A.
- De la Fuente, J.M. 1964. Estudio geológico del área Cardenas-Rio Verde, San Luis Potosí y Arroyo Seco, Qro., México. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. v. 16. p. 237. México.
- Dunham, R.J. 1962. Classification of Carbonate Rocks. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1. p. 108-121. U.S.A.
- Embry, A.F. & Klovan, J.E. 1971. A late Devonian reef tract on north-eastern Bank Island. N.W.T. Bull. of Canadian Petrol. Geol. v. 19. p. 730-781. Canada.
- Enos, P. 1974. Reefs, Platforms and Basins of Middle Cretaceous in Northeast, Mexico. Am. Assoc. of Petrol. Geol. Bull. U.S.A.
- Enos, P. 1977. Tamabra Limestone of the Poza Rica Trend. Deep water Carbonate Environments. Soc. Econ. Paleont. and mineral. Spec. Publ. 25. p. 273-314. U.S.A.
- Enos, P. 1982. Basin to platform transition, middle Cretaceous, Mexico. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. v. 66. p. 567 (resumen). U.S.A.
- Enos, P. 1983. Sedimentation and Diagenesis of Mid-Cretaceous Platform Margin, East Central Mexico. Dallas Geol. Soc. U.S.A.
- Enos, P. 1985. Diagenetic evolution of Cretaceous reefs in Mexico. Proc. of the Fifth Int. Coral Reef Cong. U.S.A.
- Enos, P. 1986. Diagenesis of mid-Cretaceous rudists reefs Valles Platform, Mexico. Reef Diagenesis. Springer-Verlag. p. 160-185. U.S.A.
- Enos, P. & Moore, C.H. 1983. Fore-reef slope environment. Carbonate Depositional Environments. Am. Assoc. of Petrol. Geol. Mem. v. 33. p. 507-537. U.S.A.
- Enos, P. & Stephens, B.P. 1991. Basin-margin carbonates, Mid-Cretaceous, El Lobo, Mexico. Sedimentation and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform Margins, East-Central Mexico, Dallas Geol. Soc. p. 2-22. U.S.A.
- Flügel, E. 1978. Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. Springer-Verlag. p. 454. Germany.
- Flügel, E. 1982. Microfacies analysis of limestones. Springer. Berlin. Deutschland.
- Folk, R.L. 1959. Practical Petrographic Classification of limestones. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. v. 43. p. 1-38. U.S.A.
- Folk, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestones types. W.E. Ham, Classification of Carbonate Rocks. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1. p. 62-84. U.S.A.
- Foucault, A. y Raoult, J.F. 1985. Diccionario de Geología. Masson, S.A. 304 p. España.
- Frakes, L.A. 1979. Climates throughout geologic time. Elsevier Scientific Publ. Co. 310 p. U.S.A.
- Fries, C. Jr. 1962. Carta Geológica de México. Hoja Pachuca 14-Q-e(11). Inst. Geol. U.N.A.M. México.
- Garfias, W.R. 1915. The oil region of northeastern Mexico. Econ. Geol. v. 10. p. 195-224. U.S.A.
- Gaytan-Rueda, J.E. 1975. Exploration and development of the La Negra mine, Maconí, Querétaro, Mexico. Tesis Maestría (inérita). Univ. Arizona. 98 p. U.S.A.
- Goldring, R. 1991. Fossils in the Field. Longman Scientific & Technical. Singapur.
- González-Arreola, C. & Carrillo-Martínez, M. 1986. Presencia de amonitas heteromórfos del Jurásico Superior (Titoniano superior) y del Cretácico Inferior (Hauteriviano-Barremiano) del área de San Joaquín-Vizarrón, Estado de Querétaro. Univ. Nac. Autónoma de México. Inst. de Geol. Rev. v. 6. p. 171-177. México.
- Griffith, L.S., Pitcher, M.G. y Rice, G.W. 1969. Quantitative environmental analysis of a lower Cretaceous reef complex. Friedman, G.M. Ed. Soc. Econ. Paleont. Mineralogist. Spec. Publ. p. 120-138. U.S.A.
- Guzmán, E.J. 1967. Reef type stratigraphic traps in Mexico-origin of oil, geology and geophysics. World Petrol. Cong., 7th. Proc. v. 2. p. 461-470. México.
- Guzzy, A.G. 1990. Radiolítidos (Mollusca-Bivalvia extinta) del Cretácico Medio de la región de Jalpan, Querétaro. Tesis Licenciatura Biología. U.N.A.M. 52 p. México.
- Hancock, P.L. 1985. Brittle microtectonics principles and practice. J. Struc. Geol. v. 7, p. 437-458. U.S.A.

- Heim, A. 1926. Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, Mexico). *Eclogae Geol. Helvetiae*. v. 20. n. 1. p. 84-89. U.S.A.
- Heim, A. 1940. The front ranges of Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale. *Eclogae Geol. Helvetiae*. v. 33. p. 314-362. U.S.A.
- Hendricks, L. y Wilson, F. 1967. Comanchean (Lower Cretaceous) Stratigraphy and Paleontology of Texas, Permian Basin Section. SEPM. Pub. n. 67-8, 1. U.S.A.
- Hermoso, C. 1964. Estudio geológico del área Cerritos-Cardenas, Estado de San Luis Potosí, México. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.* v. 16. p. 22. México.
- Howard, J.D. & Reineck, H.E. 1981. Depositional Facies of High-Energy Beach-to-offshore Sequence; Comparison with Low-Energy Sequence. *Am. Assoc. Of Petrol. Geol.* p. 807-828. U.S.A.
- I.N.E.G.I. 1981. Carta Topográfica 1:50,000. Hoja Ahuacatlán F14-C39. Qro.-S.L.P.
- I.N.E.G.I. 1990. Carta Topográfica 1:1,000,000. Hoja México-Centro.
- I.N.E.G.I. 1995. Carta Topográfica 1:50,000. Hoja San Joaquín. F14-C58. Qro.-Hgo.
- Imlay, R. 1944. Cretaceous Formations of Central America and Mexico. *Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.* v. 28. p. 1077. U.S.A.
- James, N.P. 1983. Reef Environment. Carbonate Depositional Environments. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* V. 33. Cap. 8. p. 534-440. U.S.A.
- James, N.P. & Bourque, P.A. 1993. Reefs and Mounds. p. 323-347. Canada.
- Johnson, C.C. 1984. Paleoecology, carbonate petrology and depositional environments of lagoonal facies. Cupido and El Abra Formations, northeastern Mexico. Unpublished Thesis. Univ. Colorado Boulder. 147 p. U.S.A.
- Kauffman, E.G. and Johnson, C.C. 1998. The morphological and ecological evolution of Middle and Upper Cretaceous Reef-building Rudistids. *Palaaios. Reef Issue* 3. p. 194-216. U.S.A.
- Kauffman, E.G. & Sohl, N.F. 1974. Structure and evolution of Antillean Cretaceous rudist frameworks. *Naturforschungs Gesellschafts Basel Verh.* v. 84. n. 1. p. 399-467.
- Kellum, L.B. 1930. Similarity of surface geology in front range of Sierra Madre Oriental to subsurface in Mexican south fields. *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.* v. 14. p. 73. U.S.A.
- Kendall, C.G. St. C. & Schlager, W. 1981. Carbonates and relative changes in sea level. *Marine Geol.* v. 44. p. 181-212. U.S.A.
- Kiyokawa, M. 1981. Geological survey of the Pachuca-Zimapán area, Central Mexico. Consejo de Recursos Minerales (México), Metal Mining Agency of Japan & Japan Int. Cooperation Agency. 194 p. (inédito). México.
- Klován, J.E. 1974. Development of western Canadian Devonian reefs and comparison with Holocene analogues. *AAPG Bull.* v. 58. p. 787-779. Canada.
- Lara-Corona, E., Canerot, J. et Bilotte, M. 1998. La Sierra Madre Orientale (Mexique). Une rampe homoclinal mésocrétacée en bordure du golfe. *Academie des Science. France.*
- Leet, L.D. & Judson, S. 1986. Fundamentos de Geología Física. Ed. Limusa. p. 92-94. México.
- Loeblich, A.R. Jr. & Tappan, H. 1988. Foraminiferal Genera and their classification. Van Nostrand Reinhold. 970 p. Nueva York, N.Y. U.S.A.
- López Ramos, E. 1985. Carta Geológica del Estado de Querétaro, Escala 1:250,000. 3ra. Ed. U.N.A.M. Inst. Geol. México.
- Majewske, O.P. 1974. Recognition of invertebrate fossil fragments in rocks and thin sections. *Int. Sedimentary Petrographical Series*. U.S.A.
- Minero, C.J. 1982. Depositional Environments and Porosity Evolution, El Abra Limestone (Cretaceous), Mexico. *Assoc. Round Table*. U.S.A.
- Minero, C.J. 1983a. Sedimentary environments and diagenesis of the El Abra Formation (Cretaceous), Mexico. Tesis Doctoral, Binghamton, N.Y. State Univ. N.Y. 367 p. (inédita). U.S.A.
- Minero, C.J. 1983b. Back-reef and platform-interior El Abra Formation. Sedimentation and diagenesis of mid-Cretaceous platform margin east-central Mexico. *Dallas Geol. Soc. Libro-Guía*. p. 94-110. U.S.A.

- Minero, C.J. 1988. Sedimentation and diagenesis along an island-sheltered platform margin, El Abra Formation, Cretaceous of Mexico. *Paleokarst*. New York. Springer-Verlag. p. 385-405. U.S.A.
- Molina, J.M., Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. 1991. Jurassic Karst bauxites in the Subbetic, Betic Cordillera, Southern Spain. *Acta Geol. Hungarica*. 34:169-178. España.
- Muir, J.M. 1936. Geology of the Tampico region. Tulsa, Am. Assoc. Petrol. Geol. 280 p. U.S.A.
- Mullins, H.T. & Lynts, G.W. 1977. Origin of the northwestern Bahama Platform-Review and reinterpretation. *G.S.A. Bull.* v. 88. p. 1447-1461. U.S.A.
- Mullins, H.T. & Newmann, A.C. 1979. Deep carbonate bank margin. Geology of continental slopes, structure and sedimentations in the northern Bahamas. *SEPM Spec. Publ.* 27. p. 165-192. U.S.A.
- Nigra, O.J. 1951. El Cretácico Medio de México en especial referencia a la facies de caliza arrecifal del Albiano-Cenomaniano, en la Cenobahía de Tampico-Tuxpan. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.* v. 3. p. 107-175. México.
- Odum, E.P. 1988. Ecología. Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V. México.
- Palacios-Nieto, M. 1982. Geología y geotectónica del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, Estados de Hidalgo y Querétaro. *Soc. Geol. Mex. Libro Guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes*. p. 33-42. México.
- Pedrazzini, C. 1979. Estudios de la Formación El Abra en la plataforma calcárea Tuxpan-Tecolutla. Tesis doctoral. U.N.A.M. Fac. de Ciencias. 147 p. xvii pl.
- Peterson, R., R. H. 1998: Estudio Geológico Estructural de una porción del Anticlinorio de Parras, Coahuila. Tesis Licenciatura (sin publicar). Fac. Ciencias de la Tierra, U.A.N.L. México.
- Press, F. & Siever, R. 1998. *Understanding Earth*. Ed. Freeman. p. 307. U.S.A.
- Read, J.F. 1982. Carbonate platforms of passive (extensional) continental margins-types, characteristics and evolution. *Tectonophysics*. v. 81. p. 195-212. U.S.A.
- Read, J.F. (January 1985). Carbonate Platform Facies Models. *The Am. Assoc. of Petrol. Geol. Bull.* v. 69. n. 1. p. 1-21. U.S.A.
- Roehl, P.O. 1968. Preliminary Guidebook to Selective Features of The El Abra Limestone Outcrops in The Sierra Madre Oriental, Mexico. Informe inédito de la Union Oil Co. of California. U.S.A.
- Rosales-Domínguez, M.C. 1998. Mid-Cretaceous (Albian) foraminifera of "El Madroño", state of Querétaro, Central Mexico. *Rev. de la Soc. Mex. de Paleont.* v. 8. n. 2. p. 180-185. México.
- Rose, P.R. 1963. Comparison of the type El Abra of Mexico with "Edwards Reef Trend" of South Central Texas. *Geol. Soc. Ann. Fieldtrip Guidebook*, p. 57-64. U.S.A.
- Schlager, W. 1981. The paradox of drowned reefs and carbonate platforms. *G.S.A. Bull.* v. 92. p. 197-211. U.S.A.
- Schlager, W. 1990. Depositional bias and environmental change-important factors in sequence stratigraphy. *Sedimentary Geol.* v. 69. p. 109-130. U.S.A.
- Scholle, P.A. 1978. Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements and Porosities. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 27. 241 p. U.S.A.
- Scott, R.W. 1990 Models and Stratigraphy of Mid-Cretaceous reef communities, Gulf of Mexico. *SEPM. Concepts in Sedimentology and Paleontology*. v. 2. 102 p. U.S.A.
- Segerstrom, K. 1961. Estratigrafía del área Bernal-Jalpan, Estado de Querétaro. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.* v. 13. p. 183. México.
- Segerstrom, K. 1962. Geology of South-central Hidalgo and north-eastern Mexico. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1104-C. p. 87-162. U.S.A.
- Simons, F.S. & Mapes-Vazquez, E. 1956. Geology and ore deposits of the Zimapán mining district, State of Hidalgo, Mexico. *U.S. Geol. Survey. Prof. Paper* 284. 128 p. U.S.A.
- Skelton, P.W. 1979. Gregariousness and photo-cooperation in rudists (Bivalvia). *Systematics Assoc. Spec.* v. 11. p. 257-279. U.S.A.
- Smith, B.A. 1986. Upper Cretaceous stratigraphy and the mid-Cenomanian unconformity of east-central Mexico. Ph. Dr. Dissertation. Univ. of Texas. Austin. 190 p. U.S.A.

- Spencer, E.W. 1983. *Physical Geology*. Addison-Wesley Publ. Co. p. 442-443. U.S.A.
- Suter, M. 1980. Tectonics of the external part of the Sierra Madre Oriental foreland thrust and fold belt between Xilitla and the Moctezuma River (Hidalgo and San Luis Potosí States). *U.N.A.M. Inst. Geol. v. 4. p. 19-31. México.*
- Suter, M. 1982. Deformaciones cordilleranas y potencial petrolero del borde oriental de la plataforma de Valles-San Luis Potosí (cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental), México, centro-oriente. *Soc. Geol. Mex. Conv. Geol. Nac. 6. p. 82 (resumen). México.*
- Suter, M. 1982a. Itinerario, Zimapán-Jiliapan. *Soc. Geol. Mex. Conv. Geol. Nac. 6. Libro-guía de la excursión geológica de la región de Zimapán y áreas circundantes, estados de Hidalgo y Querétaro. p. 43-51. México.*
- Suter, M. 1982b. Itinerario. Puerto de la Estancia-Jagüey Colorado-Zimapán. *Soc. Geol. Mex. Conv. Geol. Nac. 6. Libro-guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes, estados de Hidalgo y Querétaro. p. 56-64. México.*
- Suter, M. 1983. Structural travers across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico (abs.): *Geol. Soc. of Am. Abs. with Programs. v. 15. p. 702. U.S.A.*
- Suter, M. 1984. Cordilleran deformation along the eastern edge of the Valles-San Luis Potosí carbonate platform, Sierra Madre Oriental fold thrust belt, east-central Mexico. *Geol. Soc. of Am. Bull. U.S.A.*
- Suter, M. 1987. Structural travers across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico. *Geol. Soc. of Am. Bull. U.S.A.*
- Suter, M. 1988. Carta Geológica de México. 1:100,000. Hoja Tamazunchale 14Q-c(5).
- Suter, M. 1990. Geología de la Hoja Tamazunchale, Estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí. *Inst. de Geol., U.N.A.M. México.*
- Suter, M. y Carrillo-Martínez, M. 1981. Structural traverse across the fold-thrust belt of the Sierra Madre Oriental of Mexico, between Tamazunchale and Toliman. *Geol. Soc. America. V. 13. p. 109 (resumen). U.S.A.*
- Suter, M., Contreras-Pérez, J. & Ochoa-Camarillo, H. 1997. Structure of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico. II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Pachuca, Hgo. Libro-guía de las excursiones geológicas, Excursión 2. p. 45-63.
- Tappan, H. 1980. *The Paleobiology of Plant Protists*. W. H. Freeman and Company. U.S.A.
- Tardy, M. 1980. La transversal de Guatemala y la Sierra Madre de México. *Tratado de Geología. Tomo III. Tectónica, tectonofísica y morfología. España.*
- Tucker, M.E. y Wright, V. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Sci. Pub. Oxford. 482 p. England.
- Valencia, J.J. 1993. Evolution tectonique et histoire thermique de la plateforme Valles-San Luis Potosí (Mexique). Thèse, Univ. de Toulouse. 179 p. France.
- Vera, J.A., Molina, J.M., Molina-Díaz, A. y Ruiz-Ortiz, P.A. 1986-1987. Bauxitas kársticas jurásicas en la Zona Subbética (Zarzadilla de Totona, provincia de Murcia), sureste de España. *Acta Geol. Hisp. 21-22:351-360. España.*
- Vera-Torres, J.A. 1994. *Estratigrafía. Principios y Métodos*. Ed. Rueda, S.L. p. 25, 29. España.
- Viniegra, O.F. & Castillo-Tejero, C. 1970. Golden Lane Fields, Veracruz, Mexico. *Geology of Giant Petroleum Fields. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 14. p. 309-325. U.S.A.*
- Ward, J.A. 1979a. Stratigraphy, depositional environments and diagenesis of the El Doctor Platform, Querétaro, Mexico. Chapter 4. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 56. p. 35-49. U.S.A.*
- Ward, J.A. 1979b. Stratigraphy, depositional environments and diagenesis of the El Doctor Platform, Querétaro, Mexico. Tesis Doctoral Univ. of N.Y. U.S.A.
- White, D.E. 1948. Antimony deposits of the Soyatal District, State of Queretaro, Mexico. *U.S. Geol. Survey Bull. 960-B. p. 35-88. U.S.A.*
- Wilson, B.W., Hernández, J.P. y Meave, T.E. 1955. Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro, México. *Bol. Soc. Geol. Mex. México.*

- Wilson, J.L. 1975. Carbonate facies in Geologic History. Springer-Verlag. U.S.A.
- Wilson, J.L. & Ward, W.C. 1993. Early Cretaceous Carbonate Platforms of Northeastern and East-Central Mexico. Chapter 4. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 56. p. 34-49. U.S.A.