Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

Facultad de ingeniería



"Estratigrafía y microfacies de una sucesión regresiva de la Formación El Abra en el borde nor-occidental de la Plataforma Valles – San Luis Potosí"

Tesis para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Geología Aplicada

Presenta:

Ing. Daría Marcela Barboza Treviño

Asesor: Dr. Rubén Alfonso López Doncel

San Luis Potosí, septiembre, 2026

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

Instituto de Geología

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi familia y a las personas que se encuentran cruzando una etapa de dudas existenciales en su vida, no todo sale como esperamos, a veces existen obstáculos que debes superar, lo importante es nunca rendirte y siempre enfrentar tus batallas o demonios internos, aquellos que te impiden avanzar.

"El miedo puede paralizarnos, pero confrontarlo es un paso más a la victoria, y si tienes la posibilidad de enfrentarlo y salir vencedor, entonces el miedo, ya no existe".

Agradecimientos

Le agradezco al Ing. Erasmo Mata Martínez por la ayuda en la elaboración de 54 láminas delgadas para este trabajo, al Dr. Rubén López Doncel por ser mi asesor, y a cada uno de los sinodales y/o suplentes, por darse el tiempo de revisar este trabajo y hacer las debidas correcciones.

A la L.Q. Claudia Hernández Galván por explicarme el proceso y los resultados obtenidos en la difracción de rayos x, además de mostrarme los procedimientos de manejo de muestras y mecanismo de algunos aparatos usados en el laboratorio de difracción de rayos x del Instituto de Metalurgia de la UASLP, gracias a mis amigos y algunos compañeros que se dieron el tiempo para explicarme o ayudarme en alguna de las tareas para realizar este trabajo o simplemente por acompañarme en esta etapa de mi vida. Al M. en C. Guillermo Alvarado Valdez, por guiarme en algunas dudas sobre paleontología general.

A mis padres José Rafael Barboza Gudiño por guiarme cuando me sentía perdida y aclararme algunas de las dudas que surgen siempre en estos trabajos y a Marcelina Treviño Alonso, por todo su apoyo, además a mi familia en general, por el apoyo y los ánimos que me brindaron durante todo este tiempo.

Finalmente, le agradezco a todos aquellos que son lectores y además comparten esta información o harán uso de ella, como antecedente, base a futuro sobre la zona, ya que todo eso también forma parte de la investigación, divulgación y evolución de la geología o cualquier otra diciplina que pueda hacer uso de esta información, sin excluir a los lectores que no forman parte de ninguno de los campos de investigación interesados en el tema, pero que seguramente encontraran algún dato curioso que podrán usar o divulgar en alguna de sus conversaciones con amigos, alumnos o familiares, porque eso también forma parte de la ciencia y su distribución a la sociedad.

UASLP
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

FACULTAD DE INGENIERÍA

21 de agosto de 2025

ING. DARÍA MARCELA BARBOZA TREVIÑO
P R E S E N T E.

En atención a su solicitud de Temario, presentada por el **Dr. Rubén Alfonso López Doncel,** Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestra en Ciencias en Geología Aplicada**. Me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 21 de agosto del presente, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Estratigrafía y microfacies de una sucesión regresiva de la Formación El Abra en el borde nor-occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí"

Introducción.

Capítulo 1.	Marco geológico estructural de la parte sur de la carta Llanos del Carmen.
Capítulo 2.	Columnas medidas y bioestratigrafía del área de El Fénix.
Capítulo 3.	Resultados analíticos de estudios estratigráficos, difracción de rayos x y microfaciales.
Capítulo 4.	Discusión de la bioestratigrafía, correlación e implicaciones paleoambientales.

Conclusiones.
Bibliografía.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E

DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION

www.uaslp.mx

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al39
fax (444) 826 2336

Ccp. Archivo
-bvlg

"1945-2025: 80 años formando profesionales de la Ingeniería en beneficio de la sociedad"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área de Investigación y Estudios de Posgrado

D E C L A R A C I Ó N

El presente trabajo que lleva por título:

"Estratigrafía y microfacies de una sucesión regresiva de la Formación El Abra en el borde nor-occidental de la Plataforma Valles – San Luis Potosí"

se realizó en el periodo septiembre de 2023 a septiembre de 2026 bajo la dirección del Dr. Rubén Alfonso López Doncel

Originalidad

Por este medio aseguro que he realizado el trabajo reportado, y la escritura de este documento de tesis para fines académicos sin ayuda indebida de terceros y sin utilizar otros medios más que los indicados.

Las referencias e información tomadas directa o indirectamente de otras fuentes se han definido en el texto como tales y se ha dado el debido crédito a las mismas.

El autor exime a la UASLP de las opiniones vertidas en este trabajo escrito y asume la responsabilidad total del mismo.

Este trabajo no ha sido sometido como tesis o trabajo terminal a ninguna otra institución nacional o internacional en forma parcial o total, exceptuando el caso cuando existe un convenio específico de doble titulación celebrado entre ambas instituciones.

Se autoriza a la UASLP para que divulgue este documento para fines académicos.

El autor del trabajo escrito, Ing. Daría Marcela Barboza Treviño

Resumen

La localidad de la Tapona, perteneciente al municipio de Villa Hidalgo, San Luis Potosí, está ubicada en la carta geológico-minera Llanos del Carmen, con clave F14-A54. Es un punto de interés geológico para la descripción del paleoelemento denominado Plataforma Valles-San Luis Potosí (PV-SLP), ya que en sus afloramientos es posible documentar las etapas o procesos que propiciaron oscilaciones entre un medio submarino a uno subaéreo, durante la regresión marina generalizada del Cretácico Superior, específicamente en los estratos que clasificamos como Formación El Abra Superior, considerada equivalente a la Formación Tamasopo de la parte centro-oriental de la misma plataforma.

Las evidencias documentadas en esta zona de la porción centro occidental de la PV-SLP son de manera general similares a las observadas previamente 60 km al sureste, en la localidad de Peña de Salazar, sobre el mismo paleoelemento. Esencialmente se observan organismos fósiles de talla pequeña y horizontes calcáreos blandos o deleznables, del tipo que se describe como un “Sascab”, término maya utilizado para nombrar un material de tonalidad blanca a crema, en algunas ocasiones intraestratificado entre las calizas de plataforma, además de aportes terrígenos y bioturbación. Todo lo anterior reflejando aparentemente condiciones de estrés en los organismos por continuas oscilaciones desde ambientes de talud hasta sabkha, según las zonas de facies y microfacies establecidas (ZF y SMF).

Este trabajo se puede considerar una documentación de características en la zona de La Tapona para una correlación con lo previamente establecido con los mismos criterios en la localidad de Peña de Salazar, dando como resultado la evidencia de los cambios relativos de nivel del mar en la región, si bien, no del todo uniforme en las dos zonas, de acuerdo con la aparente falta de correlación directa de eventos específicos entre ambas, lo que muestra que estos cambios no fueron graduales y rítmicos, sino más bien desordenados y súbitos o repentinos en algunos casos, aunque mostrando una tendencia regresiva sostenida, como se puede considerar el descenso global del nivel del mar hacia el fin del Cretácico, pero con oscilaciones posiblemente locales, como sería la influencia de eventos tectónicos desde las fases iniciales del orógeno mexicano.

Abstract

The locality of La Tapona, belonging to the municipality of Villa Hidalgo, San Luis Potosí, is located on the Llanos del Carmen geological-mining map, with code F14-A54. It is a geological point of interest for the description of the paleoelement called the Valles-San Luis Potosí Platform (PV-SLP), since in its outcrops it is possible to document the stages or processes that caused oscillations between a submarine to a subaerial environment during the generalized marine regression of the Upper Cretaceous, specifically in the strata that we classify as the Upper El Abra Formation, considered equivalent to the Tamasopo Formation of the central-eastern part of the same platform.

The documented evidence in this area of the central-western portion of the PV-SLP is generally similar to that previously observed 60 km to the southeast, in the town of Peña de Salazar, on the same paleoelement. Essentially, small-sized fossil organisms are observed along with soft or friable calcareous layers, the type described as “Sascab,” a Maya term used to refer to a material with a white to cream color, sometimes interstratified within the platform limestones, along with terrigenous inputs and bioturbation. All of the above apparently reflecting stress conditions in the organisms due to continuous oscillations from slope environments to sabkha, according to the established facies and microfacies zones.

This study can be considered a documentation of features in the La Tapona area for correlation with what has previously been established using the same criteria in the locality of Peña de Salazar, resulting in evidence of the relative sea-level changes in the region. However, these changes are not entirely uniform in both areas, according to the apparent lack of direct correlation of specific events between them, which shows that these changes were not gradual and rhythmic, but rather disordered and sudden or abrupt in some cases, although displaying a sustained regressive trend, as can be considered the global sea-level drop toward the end of the Cretaceous, but with possibly local oscillations, such as the influence of tectonic events from the initial phases of the Mexican orogeny.

índice general

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

índice general……..I

Lista de figuras……...II

Lista de tablas……X

Introducción…….....1

A) Planteamiento del problema……...1

B) Objetivo……..2

C) Metas…….....2

D) Hipótesis……2

E) Justificación…….....3

F) Metodología……...3

G) Antecedentes……8

H) Localización y vías de comunicación…….....12

K) Marco Geológico Regional……...12

Capítulo 1-. Marco geológico estructural de la parte sur de la carta Llanos del Cármen……14

1.1 Estratigrafía…….....14

1.2 Análisis estructural……19

Capítulo 2-. Columnas medidas y bioestratigrafía del área del Fénix…….24

2.1 Descripción general de columnas estratigráficas……...25

2.2 Bioestratigrafía……..55

2.3 Icnofauna……...76

2.4 Edad de la asociación faunística……82

Capítulo 3-. Resultados analíticos de estudios estratigráficos, difracción de rayos x y microfaciales……83

3.1 Difracción de rayos X (XRD)……..83

3.2 Descripción de láminas delgadas y cinturones de facies……86

Capítulo 4-. Discusión de la bioestratigrafía, correlación e implicaciones paleoambientales…….....101

4.1 Correlación estratigráfica……...102
4.2 Historia geológica……109

Conclusión……112

Bibliografía……...112

Lista de figuras

Figura 1-. Fotografías que ilustran la metodología del trabajo de campo y trabajo de gabinete…… ..7

Figura 2-. Fotografías que ilustran la metodología del trabajo de Laboratorio……7

Figura 3-. Mapa representativo de la plataforma valles- san Luis potosí, modificado de Barboza-Treviño (2022) ……11

Figura 4-. Mapa de localización del área de estudio y vías de comunicación……...12

Figura 5-. Columna estratigráfica general, del área de estudio, modificada de Barboza-Gudiño, Mata- Segura y Martínez De la Cruz (2000) ……19

Figura 6-. Mapa geológico- estructurar de la porción SE de la carta Llanos del Carmen con clave F14-A54, modificado de Barboza- Gudiño, Mata- Segura y Martínez De la Cruz (2000)……....21

Figura 7-. La sección A-A´, con rumbo SW- NE……22

Figura 8-. Estereograma para datos de estratificación S0 tomados en campo en el perfil El Fénix……..22

Figura 9-. Estereograma para datos de estratificación S0 tomados en campo en el perfil El Mulero……23

Figura 10-. Estereograma para datos de estratificación S0 tomados en campo en el perfil El Pedernal……23

Figura 11-. Mapa tomado de Google earth, modificado para localizar la ubicación de cada base las columnas estratigráficas medidas……25

Figura 12-. Fotografía de un fragmento de pedernal gris con franjas blancas, el dibujo representa algunos de los rasgos lenticulares que siguen dichas franjas en el fragmento……..26

Figura 13-. Recopilación de fotografías en campo donde aparece pedernal en las diferentes columnas A y B columna El Fénix, C columna El Mulero, D y E columna El Pedernal……..26

Figura 14-. Fotografía en campo de un tramo de caliza limo-arenosa en la columna El Mulero……27

Figura 15-. Fotografía en campo de la Capa 06F, material identificado en la zona de estudio como caliza arcillosa, Formación El Abra……28

Figura 16-. fotografía que muestra el horizonte blando encontrado en la columna El Fénix……..29

Figura 17-. Simbología para litología de columnas, modificado de Barboza-Treviño (2022)……29

Figura 18-. Simbología para contenido de las columnas en campo y muestra de mano, modificado de Barboza-Treviño (2022) ……30

Figura 19-. Fotografía en campo de las capas 01F y 02F, pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio……..31

Figura 20-. Fotografía en campo de la secuencia de capas 32F a 35F, pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio……..31

Figura 21-. Columna Fénix 1, porción base de la columna estratigráfica El Fénix……..33

Figura 22-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Fénix 1……34

Figura 23-. Columna Fénix 2, porción media de la columna estratigráfica El Fénix……35

Figura 24-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Fénix 2……..36

Figura 25-. Columna Fénix 3, porción de la cima de la columna estratigráfica El Fénix….37

Figura 26-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Fénix 3……..38

Figura 27-. Fotografía en campo de la secuencia de capas y un tramo cubierto, 50M, 51M Y 52M pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio…….39

Figura 28-. Fotografía en campo de la secuencia de capas 03M, 04M Y 05M pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio…….39

Figura 29-. Columna Mulero 1, porción base de la columna estratigráfica El Mulero……41

Figura 30-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Mulero 1……42

Figura 31-. Columna Mulero 2, porción media de la columna estratigráfica El Mulero…...43

Figura 32-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Mulero 2……44

Figura 33-. Columna Mulero 3, porción de la cima en la columna estratigráfica El Mulero……45

Figura 34-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Mulero 3……46

Figura 35-. Base de la columna el pedernal, se presenta una zona de transición entre calizas arcillosas a horizonte blando……..47

Figura 36-. Columna Pedernal 1, porción base de la columna estratigráfica El Pedernal……49

Figura 37-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 1……50

Figura 38-. Columna Pedernal 2, porción media de la columna estratigráfica El Pedernal……51

Figura 39-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 2……52

Figura 40-. Columna Pedernal 3, porción media de la columna estratigráfica El Pedernal……53

Figura 41-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 3……54

Figura 42-. Fotografía de *Coral* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...55

Figura 43-. Fotografía de *Coral* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...55

Figura 44-. Fotografía de *Bivalvo* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……56

Figura 45-. Fotografía de *Neohippurites* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...57

Figura 46-. Fotografía de *rudista* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...57

Figura 47-. Fotografía y Dibujo de Eoradiolites liratus para ilustrar los ejemplares encontrados en el área de La Tapona……58

Figura 48-. Representación en dibujo de *gasterópodos* imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……..59

Figura 49-. Fotografía en campo de túrratelas……59

Figura 50-. Fotografía de *Ostrácodo* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……60

Figura 51-. Fotografía de *Briozooarios* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……60

Figura 52-. Fotografía de *Esponjas* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...61

Figura 53-. Fotografía de *Permocalculus* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……61

Figura 54-. Dibujo de *Lenticulina* en lámina delgada, modificada de Barboza-Treviño (2022)……62

Figura 55-. Fotografía de *Nezzazatinella* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……..62

Figura 56-. dibujo de *Miliolido* en lámina delgada, modificada de Barboza-Treviño (2022)……62

Figura 57-. Fotografía de *Cuneolina* en lámina delgada y representación en dibujo, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……63

Figura 58-. Fotografía de *Dicyclina* en lámina delgada, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……..63

Figura 59-. Fotografía de *Peneroplis* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……64

Figura 60-. Fotografía de *Pseudolituonella* en lámina delgada y representación en dibujo……64

Figura 61-. Fotografía de *Textularia* en lámina delgada y representación en dibujo, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022)……65

Figura 62-. Imágenes de los diferentes foraminíferos encontrados en la zona de estudio, para ilustrar como se ven en lámina delgada……..65

Figura 63-. Simbología para contenido de las columnas en lámina delgada, microfósiles, modificado de Barboza-Treviño (2022)……65

Figura 64-. Columna con características en lámina delgada, columna El Fénix 1……67

Figura 65-. Columna con características en lámina delgada, columna El Fénix 2……68

Figura 66-. Columna con características en lámina delgada, columna El Fénix 3……69

Figura 67-. Columna con características en lámina delgada, columna El Mulero 1……70

Figura 68-. Columna con características en lámina delgada, columna El Mulero 2……71

Figura 69-. Columna con características en lámina delgada, columna El Mulero 3……72

Figura 70-. Columna con características en lámina delgada, columna El Pedernal 1……73

Figura 71-. Columna con características en lámina delgada, columna El Pedernal 2……..74

Figura 72-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 3……75

Figura 73-. Distribución ambiental de icnofacies, modificado de Pemberton (1992)……77

Figura 74-. Dibujos de los ignogéneros presentes en la zona de estudio, modificado de Pemberton (1992)……78

Figura 75-. Fotografía de la icnofacie Cruziana en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...78

Figura 76-. Fotografía de bioturbación en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……...79

Figura 77-. Fotografía de Thalassinoides en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra……..80

Figura 78-. Fotografía de Thalassinoides en la capa LIC24-06P, pertenece a la Formación El Abra……..80

Figura 79-. Fotografía de Thalassinoides en el perfil El Fénix, pertenece a la Formación El Abra……...81

Figura 80-. Representación de las edades de los organismos fósiles en la localidad de la Tapona, Formación El Abra, modificado de Barboza-Treviño (2022)……82

Figura 81-. Difractograma de rayos x para la capa LIC24-20M, perfil El Mulero……...83

Figura 82-. Difractograma de rayos x para la capa LIC24-, perfil El Fénix……84

Figura 83-. Difractograma de rayos x para la capa LIC24-, perfil El Pedernal……85

Figura 84-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Talud……86

Figura 85-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Arrecife……87

Figura 86-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Tras arrecife……..88

Figura 87-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Plataforma abierta……...89

Figura 88-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Plataforma restringida……90

Figura 89-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Sabkha……91

Figura 90-. Diagrama para SMF y ZF, modificado de Wilson (1975)……..91

Figura 91-. Columna El Fénix 1 para resultados de zona de facies……93

Figura 92-. Columna El Fénix 2 para resultados de zona de facies……93

Figura 93-. Columna El Fénix 3 para resultados de zona de facies……94

Figura 94-. Columna El Mulero 1 para resultados de zona de facies……94

Figura 95-. Columna El Mulero 2 para resultados de zona de facies……95

Figura 96-. Columna El Mulero 3 para resultados de zona de facies……95

Figura 97-. Columna El Pedernal 1 para resultados de zona de facies……..96

Figura 98-. Columna El Pedernal 2 para resultados de zona de facies……..96

Figura 99-. Columna El Pedernal 3 para resultados de zona de facies……..97

Figura 100-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna X, Formación el Abra, en peña de Salazar, cerritos, S.L.P……103

Figura 101-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna 1, Formación el Abra, en peña de Salazar, Cerritos, S.L.P……104

Figura 102-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna 2, Formación el Abra, en peña de Salazar, Cerritos, S.L.P……105

Figura 103-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna 3, Formación el Abra, en peña de Salazar, Cerritos, S.L.P……106

Figura 104-. Columnas estratigráficas de las zonas de Peña de Salazar y La Tapona…108

Figura 105-. Representación de la PV-SLP……..109

Figura 106-. Secuencia simplificada de lo que sucedió en la porción centro occidental de la PV-SLP……...110

Figura 107-. Secuencia simplificada de lo que sucedió en la porción nor-occidental de la PV-SLP……...111

Lista de tablas

Tabla 1-. Datos para estereograma El Fénix……..22

Tabla 2-. Datos para estereograma El Mulero……...23

Tabla 3-. Datos para estereograma El Pedernal……23

Tabla 4-. Datos de campo para características de capas de la columna El Fénix……..32

Tabla 5-. Datos de campo para características de capas de la columna El Mulero …….40

Tabla 6-. Datos de campo para características de capas de la columna El Pedernal ……48

Tabla 7-. Descripción de foraminíferos que aparecen en las láminas delgadas de la zona de estudio……...62

Tabla 8-. Intensidad o porcentaje de bioturbación de Tucker (2003)……76

Tabla 9-. Datos de láminas delgadas para características de capas de la columna El Fénix……..98

Tabla 10-. Datos de láminas delgadas para características de capas de la columna El Mulero……99

Tabla 11-. Datos de láminas delgadas para características de capas de la columna El Pedernal……100

Introducción

Carrillo- Bravo (1971), describió el paleoelemento denominado Plataforma Valles-San Luis Potosi (PV-SLP), un rasgo paleogeográfico importante en la historia geológica de México y relevante por su contenido paleontológico y su potencial en la exploración petrolera, ya que durante el período Cretácico, en el que se desarrolló dicha plataforma, se dio la mayor abundancia de arrecifes y ambientes lagunares, además de su potencial petrolero y la acumulación de grandes volúmenes de brechas de talud, las cuales funcionan como rocas almacenadoras.

A lo largo de su historia la PV-SLP experimentó diversos cambios propiciados por eventos tectónicos, climáticos y del medio ambiente en general, que sin duda afectaron tanto a la expansión o distribución de las colonias de organismos, como al desarrollo de estos. Ejemplo de ello, es lo documentado por Barboza-Treviño (2022) en la Formación el Abra, específicamente en la localidad Peña de Salazar, Cerritos, San Luis Potosí, donde los organismos fueron afectados por factores alocíclicos, como son; cambios en la salinidad, turbidez en el agua por aporte de sedimentos, entre otros, relacionados con fluctuaciones cíclicas en el nivel del mar durante el Crético Superior. Estos cambios incrementaron el nivel de estrés del medio ambiente generando que algunos organismos de esta región registraran un limitado desarrollo (enanismo) para poder subsistir (Omaña et al, 2012). Debido a esto se puede pensar que otras regiones ubicadas en el margen occidental de la PV-SLP, como lo es La Tapona, podrían presentar indicadores que reflejen estos ciclos de los cambios eustáticos del nivel del mar, antes de que la plataforma fuera expuesta a condiciones subaéreas. Los indicadores de estos eventos podrían ser el enanismo en las especies fósiles, coincidente en la sucesión estratigráfica con la presencia de horizontes de material blando u “horizontes blandos”, término descriptivo de campo, con el que se han denominado algunos horizontes de diversos materiales arcillosos, tobáceos y en algunos casos yesos no consolidados o no compactados, que alternan en estas secuencias con los estratos de caliza más pura. Dicho material blando corresponde a lo que los mayas llamaron Sascab,

A. Planteamiento del problema

Estudios previos, en capas del Cretácico Superior (Barboza-Treviño, 2022) han confirmado que, en Peña de Salazar, existen organismos que fueron afectados por factores ajenos a su entorno, como una mayor salinidad, turbidez en el agua por aporte de sedimentos terrígenos o volcanoclásticos, entre otros, que resultaron perjudiciales para su forma de vida, provocando que los organismos en la zona de estudio redujeran su tamaño para sobrevivir. Lo anterior fue causado por cambios en el nivel del mar, de manera cíclica durante el Cretácico Superior. Debido a esto se puede pensar que en otras regiones ubicadas en el margen occidental de la PV-SLP, se presentaron fenómenos similares que servirían como un indicador de movimientos en el nivel del mar, antes de que la plataforma estuviera completamente expuesta bajo condiciones subaéreas. Estos indicadores podrían ser el enanismo en las especies fósiles a simple vista y la presencia de horizontes

de material blando, no consolidado, reconocido como un sascab, como es el caso de La Tapona, que al igual que Peña de Salazar también cuenta con dichas características.

B. Objetivo

Documentar los eventos de trasgresión y regresión marina, así como otros procesos o factores asociados y su posible influencia en el desarrollo de la fauna marina de la parte nor-occidental de la Plataforma Valles- San Luis Potosí durante el Cretácico Superior.

C. Metas

- Realizar perfiles estratigráficos a detalle de la zona de estudio.
- Realizar un análisis microfacial y faunistico de cada estrato documentado.
- Realizar análisis de los “horizontes blandos” con difracción de rayos X y secciones delgadas.
- Establecer un modelo de depósito del área de estudio.
- Generar un análisis estructural a nivel local.
- Establecer una correlación estratigráfica entre las secciones medidas y otras áreas reconocidas en la PV-SLP.

D. Hipótesis

Las evidencias previamente reconocidas en algunas localidades en la región centro occidental de la PV-SLP, que demuestran la ocurrencia de cambios eustáticos del nivel del mar registrados durante el Aptiano-Maestrichtiano, en la región centro-occidental de la PV-SLP podrían estar presentes en otras sucesiones de la Formación El Abra que lateralmente sean correlacionables. Afloramientos encontrados en la zona de Llanos del Carmen ofrecen la posibilidad de investigar secciones más extensas y completas de estas facies y niveles estratigráficos y con ello la posibilidad de responder a las preguntas acerca de la presencia generalizada a nivel regional, de los mismos niveles relacionados con eventos regresivos y transgresivos que afectan el desarrollo de los organismos en la PV-SLP o bien, las evidencias de cualquier otro proceso que pudiera haber generado estos cambios. Dicho esto, nos podemos plantear las siguientes preguntas, ¿Presentan las localidades Peña de Salazar y Llanos del Carmen, los mismos niveles relacionados con eventos transgresivos y regresivos que afectan el desarrollo de los organismos en la PV-SLP? o, si los niveles no están presentes en ambos afloramientos, ¿qué genero estos cambios?

E. Justificación

Los cambios paleoambientales relacionados con altos y bajos del nivel del mar en una sucesión sedimentaria pueden presentarse lateral y verticalmente. Por lo tanto, es muy importante reconocerlos y documentarlos con el propósito de establecer si estos están relacionados a eventos transgresivos o regresivos, o bien, si están asociados con cambios en la morfología de la cuenca.

Para la interpretación de la evolución de facies y eventos que se presentan en el subsuelo de una cuenca petrolera, es útil y práctico, de existir la posibilidad, el estudio de alguna sucesión análoga en afloramiento. Tal es el caso de él margen oriental de la PV-SLP, actualmente en el subsuelo de la planicie costera y su margen Occidental, que aflora hacia la Mesa Central y nos permite crear modelos hipotéticos de evolución y distribución de facies.

F. Metodología

En esta sección se hace una descripción a detalle de los métodos empleados para llevar a cabo cada una de las etapas que conforman esta investigación.

Trabajo de gabinete

Durante esta etapa se llevó a cabo una revisión bibliográfica de algunos trabajos previos de la zona de interés, así como de la PV-SLP, reportes y folletos técnicos, además de analizar la carta geológico- minera Llanos del Carmen, con clave, F14-A54. De esta manera también se delimitaron las rutas para llegar al lugar de estudio y se planteó el número de salidas a campo, además con ayuda de fotografías aéreas del área se lograron elegir los perfiles para medición las zonas y claves de líneas usadas son las siguientes para la Pemex la zona 4A con las líneas 597 y fotografías 14, 15, 16 y 17, 598 con las fotografías 1, 2, 3 y 4, 599 con las fotografías 14, 15, 16 y 17, y la línea 600 con las fotografías 1, 2, 3 y 4, en escala 1;20.000 y para INEGI la zona F14-A54 con línea 21B fotografías 1,2 y 3 en escala 1;50.000. Se realizaron siete salidas a campo dos para reconocimiento de la zona y cinco para medición de perfiles, toma de muestras y reconocimiento de fósiles o marcas de bioturbación en el área.

Subsecuentemente se generaron los mapas de ubicación de las secciones medidas, con base en la carta topográfica y geológica, además de los datos recolectados en campo. Se crearon columnas estratigráficas locales a detalle con las características observadas en las secciones medidas y estas fueron bocetadas en papel para su digitalización. Finalmente se digitalizaron mapas, figuras y se organizaron todos los datos de campo y laboratorio para la interpretación e integración de esta tesis. La figura 1 muestra algunas imágenes del trabajo de gabinete.

Trabajo de Campo

Durante la primera etapa para el trabajo de campo se realizó un reconocimiento del área de estudio, para elegir el primer perfil, reconocer el área y la planeación para la forma de trabajo, es decir hacer un conteo rápido de estratos y litologías, para posteriormente iniciar la descripción capa por capa de los perfiles y la toma de muestras tanto de roca como de material blando. La figura 1 ilustra algo del trabajo que se realizado en campo.

Durante la segunda etapa, se comenzaron a medir los perfiles estratigráficos, esto usando la siguiente metodología, primeramente, se identificó la secuencia de estratos para medición, una vez identificadas las capas que serán medidas, se elige una de ellas para iniciar la secuencia, siendo esta la base de nuestra columna estratigráfica.

Después de elegir la base de la columna se procede a medirla y describirla de una manera detallada, para esto se usó un flexómetro de 1m aproximadamente, se toma el dato de medición en centímetros (cm) y se observan las características principales de la roca, dichas características son; Tipo y color de roca, en este caso se toman en cuenta las capas de material blando en la secuencia por lo que también se anotan características como el tamaño de grano, aspecto del material y otros indicadores de los materiales ya sean franjas o nódulos de pedernal, marcas de cima o base, estilolitas, organismos fósiles, consolidación del material y alteraciones o mineralización en los mismos, de ser posible se agrega la formación a la que pertenece la roca, en este caso la Formación el Abra, siempre anotando todo en la libreta de campo de manera ordenada.

Posteriormente se captura una fotografía por estrato agregando una escala, las escalas usadas en este trabajo serán; Navaja, pica (martillo de geólogo) de 32.7 cm, lápiz y la libreta de campo. Esto con el fin de generar perfiles que se puedan describir de manera gráfica y agregar su fotografía para visualizar la secuencia de los estratos en campo.

La toma de muestras se realizó siguiendo dos formas y respetando los cuidados necesarios para preservar cada muestra según lo requiera el laboratorio. Las muestras de roca fueron usadas para generar laminas delgadas, obteniéndolas de la siguiente manera, el primer paso para este proceso es observar el estrato hasta encontrar un punto donde se pueda dar un golpe con la pica, para obtener un fragmento de roca de 10 cm aproximadamente, a dicho fragmento se le asignara una clave en secuencia para su distinción. Esta clave se generará con los siguientes datos, nombre de la localidad, solo con iniciales, año del proyecto en dos dígitos, los finales, se agrega un guion seguido por el número correspondiente al estrato y la inicial del nombre de nuestro perfil, esto para distinguir capas entre perfiles, ya que se generaron tres secuencias estratigráficas, obteniendo la clave LIC24-01F. Una vez cortada y etiquetada la muestra, se coloca en una bolsa plástica para ser trasportada, en todos los casos de muestra de roca se puede colocar más de una

muestra por bolsa, ya que no afecta su contacto con otras muestras, es decir no se contaminan.

Los horizontes de material blando, de los que se tomaron las muestras de polvo, cuentan con una forma de muestreo más delicada, en la que con ayuda de una espátula o la pica se retirara la capa superficial del material, con una cuchara limpia se toma una poca de muestra en una bolsa plástica. En este caso las muestras de polvo o material blando no se pueden mezclar entre sí, ni con otros materiales, por lo que al colocarse en la bolsa plástica estas serán selladas y etiquetadas con su clave de identificación, la cual será la secuencia de capa que le corresponda, obteniendo la clave LIC24-02F. Además de tomar fotografías para armar el perfil con una de las escalas antes mencionadas.

Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio fue dividido en dos partes, la primera parte es dedicada al tratamiento con las muestras de roca para la elaboración de láminas delgadas y de esta manera poder llevar a cabo el análisis microfacial y faunístico (Barboza-Treviño,2022). El primer paso es cortar las muestras de roca en cubos que cumplan con el tamaño estándar para ser pegados en un portaobjetos petrográfico, estas medidas son 4.5 cm de largo por 2.7 cm de ancho. Posteriormente estos cubos de roca fueron desbastados y pulidos por una de sus caras, todo esto con ayuda de abrasivos de diferentes calibres que van desde 80 para nivelar la muestra a 1000 o 2000 para dejar la superficie pulida. Una vez terminado el proceso de pulido en el cubo, se procedió a pulir una de las caras del portaobjetos con abrasivo 600 y posteriormente a pegarse sobre la roca con resina, para esta resina no es necesario calentar la muestra, ni la propia resina, el método de preparación es el siguiente; cuidando que no quedaran burbujas entre la roca y el portaobjetos, sobre sus caras pulidas. Se deja secar de nueve a 24 horas para que pegue por completo y se retira la muestra del vidrio con cuidado. Lo que queda tras retirar la muestra es un portaobjetos con algo de excedente de roca adherido a él, así que el siguiente paso es desbastar ese excedente de roca, pasando por los mismos abrasivos 80 para nivelar y desbastar rápido y luego de 400 a 1000, hasta un espesor aproximado de 30µ, para poder ver las propiedades ópticas de los minerales en la muestra bajo el microscopio.

Posteriormente se realizó el análisis microfacial y paleontológico, bajo el microscopio y de esta manera se obtendrán los resultados que este trabajo muestra más adelante. Para estandarizar estas descripciones utilizando la terminología adecuada, así como puntos de comparación, se utilizó el manual de rocas carbonatadas de López-Doncel (2004), que constituye una mirada rápida a los diversos métodos o para clasificar carbonatos, analizando los métodos de Folk (1962) y Dunham (1962) principalmente.

Asimismo, para la descripción del material fósil, se utilizó el manual de fósiles tipo mexicanos (1989); que es una recopilación conmemorativa por el centenario del

Instituto de Geología de la UNAM. Este manual muestra una guía de fósiles característicos de México, y contiene solamente información básica de los organismos, como nombre, especie, localidad tipo y edades determinadas para ubicarlos cronológicamente.

Durante la segunda etapa de laboratorio se realizó un análisis de las muestras de polvo de los horizontes blandos y de rocas calizas de cada uno de los perfiles para verificar su composición química-mineralógica y si esta llega a variar entre los diferentes materiales o si se mantiene homogénea, a fin de comparar dichos materiales entre sí.

Las muestras de polvo fueron llevadas al Instituto de Metalurgia de la UASLP, para ser analizadas en un difractómetro de rayos x, también conocido como “Ojo de lince”, para esto, fueron trituradas hasta llegar a una granulometría adecuada para dicho equipo. La forma de preparación para las muestras fue la siguiente: el material es suficientemente blando como para manejarse manualmente, por esta razón se molió directamente en un mortero de porcelana de manera tradicional, posteriormente se tamizó cada una de las muestras en una malla No. 200, para recolectar solamente el material fino, que cumpliera con el tamaño adecuado de 75 micras. Dicho material fue colocado en un pequeño vaso para muestras y sellado con su tapa de plástico, para colocarle la clave correspondiente a cada muestra.

En cuanto a las muestras de roca se procesaron en una trituradora de quijada Retsch Gmbh tipo BB100 Mangan, el proceso inicial fue fragmentar la muestra con un mazo o pica sobre una plancha de metal circular, posterior mente se mete a la trituradora y el material captado en el contenedor de metal se pasa por las mayas hasta llegar a la malla No. 200, el material recolectado se coloca en bolsas o botes de plástico a los que se les colocara la clave correspondiente a cada muestra, las muestras se sellan y se envían al laboratorio para análisis de difracción de rayos x.

Es muy importante limpiar el equipo y los utensilios de laboratorio con cada muestra de material, arcilloso y o rocoso teniendo, cuidando de no contaminar unas muestras con otras, principalmente para evitar datos erróneos, en la figura 2 se muestran algunas imágenes de los procesos de laboratorio.

Una vez en el laboratorio de difracción de rayos X, se tomó un poco de muestra para ser colocada en un portaobjetos al cual se le llama pastilla, esto es un cuadro de 7x7 cm, hecho de plástico transparente, que tiene una figura circular con profundidad al centro, donde se colocara el polvo. El polvo es compactado ligeramente, procurando tener cuidado para no aplastarlo de más, ya que esto podría alterar los resultados. Una vez compactada, la poca cantidad de polvo en la pastilla es metida en el Difractómetro de rayos X para polvos Bruker D8 Advance con diseño Davinci y detector rápido ojo de lince, óptica secundaria twin-twin y porta muestras para 9 muestras automatizado. Con software TOPAZ para realizar análisis cuantitativo, este difractómetro se compone de tres partes importantes; 1-. Generador de rayos X, 2-. Porta muestras, donde se colocará la pastilla rellena de

muestra y 3-. Aislador. Ahora solo queda esperar para obtener los resultados procesados y regresar la muestra a su recipiente. Recordando siempre limpiar, antes y después, cada recipiente o material utilizado en cualquier proceso.



Figura 1-. Fotografías que ilustran la metodología del trabajo de campo y trabajo de gabinete.



Figura 2-. Fotografías que ilustran la metodología del trabajo de Laboratorio.

G. Antecedentes

El Cretácico fue uno de los periodos en la historia geológica donde se generaron extensos sistemas de plataformas carbonatadas a lo largo de los márgenes del océano Tetis (Coogan,1977). La dispersión del piso oceánico y el vulcanismo asociado fueron los principales factores responsables del aumento de las concentraciones de CO^2 atmosférico, lo que llevo a un incremento en la temperatura superficial durante gran parte de este periodo, provocando así las condiciones adecuadas para formar plataformas carbonatadas. (Kelly, 2003; Bice et al., 2006; Hay, 2011). Estos desarrollos carbonatados estuvieron limitados por los llamados eventos anoxicós oceánicos, considerados crisis en el ciclo del carbono, lapsos de tiempo corto, durante los cuales el desarrollo de plataformas carbonatadas se vio afectado, generándose secuencias arcillosas en varias partes de México (Núñez-Useche et al.,2014).

Las plataformas carbonatadas cretácicas en México más importantes son; Aldama, el Burro, Morelos, Cupido, el Doctor, Córdoba, Coahuila, Tuxpan y la Valles- San Luis Potosí. En ellas se desarrollaron complejos arrecifales que han sido explotados con éxito, como es el caso de la Formación Cupido, Formación El Abra y Los depósitos de la faja de oro, que han producido hidrocarburos desde 1908 (Oviedo-Pérez, 2017). tras la apertura del golfo por etapas de rifting y drifting (Goldhammer et al,1991), el movimiento horizontal de las placas tectónicas había terminado y la subsidencia tectónica del margen pasivo del noreste de México experimentó una desaceleración (Goldhammer et al,1991; Goldhammer y Johnson, 2001). Durante el Berriasiano, esto genero amplias cuencas sedimentarias limitadas por bloques fallados dispuestos en la provincia del golfo de México (Goldhammer,1999).

Según Wilson (1990) algunas de las grandes plataformas carbonatadas del mundo se encuentran en el noreste de México y la parte central. Los campos de márgenes de plataforma y de cuenca del Cretácico Inferior constituyen los reservorios de los campos gigantes de petróleo del este de México. La localización e historia del depósito de estas rocas carbonatadas están estrechamente relacionadas al rifting mesozoico y a la apertura del golfo, se cree que este último tuvo su origen desde el Triásico Superior por la ruptura del super continente Pangea, en el tiempo cuando comenzó a separarse Norteamérica de África y Sudamérica (Salvador, 1991). La apertura del Atlántico probablemente inicio en el Jurásico Inferior y Jurásico Medio con la formación de corteza oceánica. Actualmente el depósito carbonatado del Albiano- Cenomaniano, que constituye la Formación El Abra, se encuentra dentro de la faja plegada de la SMO, aflorando en la parte central del estado de San Luis Potosí y en áreas más pequeñas de los estados de Nuevo León, Querétaro, Tamaulipas y Guanajuato (Carrillo, Bravo, 1971).

En el Cretácico durante el Albiano- Cenomaniano las plataformas carbonatadas alcanzaron una gran extensión, su auge no ocurrió en la región mediterránea, sino también en otras partes del dominio Tethysiano incluyendo la parte occidental de este. La fauna bentónica de este ambiente se caracteriza por los microforaminíferos, los cuales juegan un papel muy importante en la datación de las plataformas carbonatadas (Schroeder y Neumann, 1985).

El basamento sobre el que descansa la PV-SLP está constituido por rocas ígneas y metamórficas premesozoicas plegadas y falladas durante el Jurásico Temprano, sin embargo, en zonas como Miquihuana o Alamitos, este basamento está cubierto por depósitos siliciclasticos (Venegas- Rodríguez et al., 2009; Barboza- Gudiño et al 2011). Una deformación extensional posterior dio como resultado una serie de estructuras tipo graben y horts que se extienden hacia el este (Murray,1961; aguayo-Camargo,1998), derivados del movimiento rotacional del bloque de Yucatán durante el Cretácico Temprano (Ocampo- Diaz et al., 2019).

La PV-SLP (Figura, 3) es un elemento paleogeográfico que se ubica en el noreste de México y cuenta con una extensión de 60,000 Km2, dicha plataforma fue descrita y delimitada por Carrillo Bravo (1971), en la porción centro oriental de México, caracterizada por la ocurrencia de rocas calcáreas de ambientes pre-arrecifales, arrecifales y post-arrecifales. Las calizas de la Formación El Abra se distribuyen sobre ella y se pueden observar afloramientos en la parte central de los estados de S.L.P., Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Tamaulipas y Nuevo León (Carrillo- Bravo, 1971; Wilson y Ward,1993), está flanqueada hacia el oeste por la Cuenca Mesozoica del Centro de México (CMCM), una cuenca sedimentaria con aproximadamente 6000 m de espesor con sedimentos depositados a partir del Jurásico Superior (Nieto- Samaniego et al.,2005).

Su límite este es con la Cuenca Tampico- Mizantla, una de las provincias más importantes en cuanto a producción de hidrocarburos en México y zonas de depósito del paleocanal de Chicontepec. Esta cuenca también separa a la PV-SLP de la plataforma de Tuxpan.

Los Horts generados funcionaron como altos topográficos sobre los cuales se desarrollaron la Plataforma Valles- San Luis y la plataforma de Tuxpan, mientras que los grabens dieron paso a la Cuenca Tampico- Mizantla. La apertura del Golfo de México y la transgresión marina durante el Cretácico Temprano, propiciando el desarrollo de secuencias terrígenas que se depositaron alrededor de altos estructurales. Eventualmente la PV-SLP fue inundada durante el Aptiano como consecuencia se generaron depósitos carbonatados y evaporiticos sobre ella, correspondientes a las formaciones Guaxcamá y Tamaulipas Superior del Cretácico Inferior (López- Doncel,2003; Moran- Ramírez *et al.,*2013).

Mientras que en zonas de cuenca se depositó la Formación Otates (Aguayo-Camargo, 1998). La Formación El Abra, considerada la principal formadora de la plataforma carbonatada, empezó su depósito sobre la PV-SLP a inicios del Albiano hasta posiblemente el límite Turoniano- Coniaciano (Aguayo- Camargo, 1998; LópezDoncel,2003).

Esta se compone de facies de interior de plataforma rodeadas por parches arrecifales compuestos principalmente por rudistas al mismo tiempo en zona de talud de ambos márgenes, se generaron depósitos de gravedad producto de la desestabilización del borde de la Formación El Abra, estos depósitos son conocidos como Formación Tamabra (López- Doncel,2003). De acuerdo con Eguiluz et al. (2010), La PV-SLP representaría un banco carbonatado restringido por parches arrecifales acrecionado sobre un alto paleotectónico. Morfológicamente esta

plataforma estaría representando una plataforma aislada (Flugel,2010). Mientras que, de acuerdo con su ambiente tectónico, esta sería considerada como una plataforma de borde fallado (Bosence,2005).

La zona de estudio se encuentra dentro de la carta geológico- minera Llanos del Carmen S.L.P. con clave F14- A54 a escala 1:50,000, el reporte de la zona cartografiada fue realizado por Barboza- Gudiño *et. al.,* (2000), en dicho reporte y carta se muestran los diferentes tipos de roca presentes en toda el área, así como una breve descripción de la misma, en la que se destaca que es una zona de transición entre la plataforma y la cuenca. Para la porción este se observan sierras principalmente de rocas sedimentarias y edades cretácicas, las cuales se extienden hacia el centro de la carta, apareciendo depósitos y derrames de rocas tipo ígneas como basaltos e ignimbritas, finalmente a la parte oeste se observa una gran planicie que representa la cuenca rellena de materiales cuaternarios, principalmente conglomerados y aluvión. De manera general, en cuanto a la geomorfología se puede decir que predominan las sierras y los llanos, pero si se habla de un análisis estructural se aprecian los plegamientos suabes y fallas regionales como las más importantes, tal es el caso de la falla El Fénix o la falla llamada Llanos del Carmen, esta última siendo la de mayor magnitud y de tipo normal.

El trabajo de Omaña-Pulido (2011), titulado “Bioestratigrafía, Paleoecología y paleobiogeográfía del Cretácico Superior con base en foraminíferos de la parte occidental de la plataforma Valles- San Luis Potosí, México”. Es una herramienta que sirve de utilidad en cuanto a descripciones fósiles, ya que da como referencia las características de los organismos que se encuentran presentes en la porción occidental de la PV-SLP. Lo que para el trabajo en desarrollo sirve como una guía de comparación para tener un control de lo que se puede encontrar en cuanto a microfauna.

Una parte fundamental de este trabajo es la correlación de una localidad llamada Peña de Salazar en la cual Ramos-Hernández (2018), desarrolló el trabajo titulado Análisis microfacial, paleontológico y geoquímico en carbonatos de la Formación El Abra, Cerritos, San Luis Potosí, México, en dicho trabajo se destaca la importancia paleontológica de la región y se describió una parte del perfil estratigráfico presentado en el estudio de Barboza-Treviño (2022), trabajo que lleva el título de “Estudio Bioestratigráfico y microfacial de una sucesión regresiva de la Formación El Abra en la localidad de Peña de Salazar S.L.P. (margen occidental de la PV-SLP)”, en el que se describe la porción centro- occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí documentando cambios en el nivel del mar asociados con la exposición paulatina de esta plataforma, además genera una guía fósil tanto de organismos microscópicos como macroscópicos. Los perfiles descritos en dicho trabajo son a detalle, es decir capa por capa lo que permite revisar cambios de manera visual y el análisis de microfacies permite ubicar cada una de estas capas en un perfil de margen continental, logrando dar una idea de donde se ubicaron dichas capas con respecto al nivel del mar.

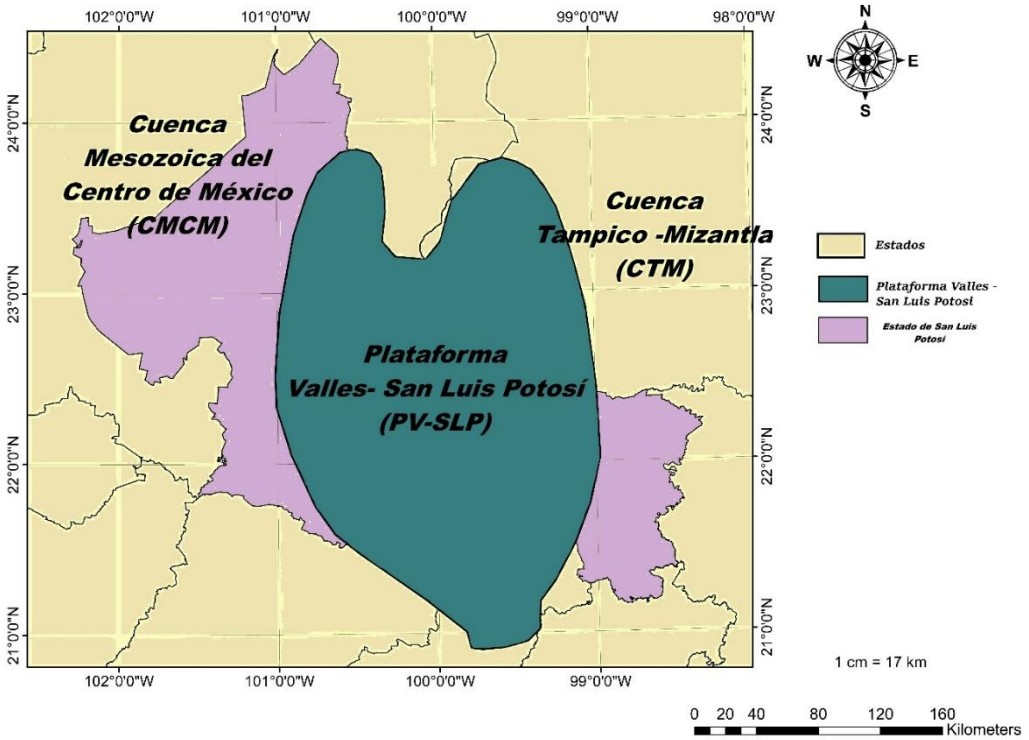


Figura 3-. Mapa representativo de la Plataforma Valles- San Luis Potosí, (modificado de Barboza-Treviño, 2022).

H. Localización y vías de comunicación

La Tapona es una comunidad perteneciente al municipio de Villa Hidalgo, situada a 83 km de la capital del estado. Para llegar al área de estudio se trazó una ruta que parte de la ciudad de San Luis Potosí, hacia el municipio de Villa Hidalgo por la carretera federal No. 57 hacia el norte, rumbo a Matehuala, por 65 km llegando al crucero del Peyote, para seguir una carretera local, por unos 23 Km aproximadamente hasta la comunidad, antes mencionada de la Tapona, después se tomará una ruta hacia el sureste por 10 km para llegar a la zona de estudio (Figura 4), el punto de referencia es la mina El Fénix, aunque el punto más cercano accesible con vehículo se conoce como el mulero.

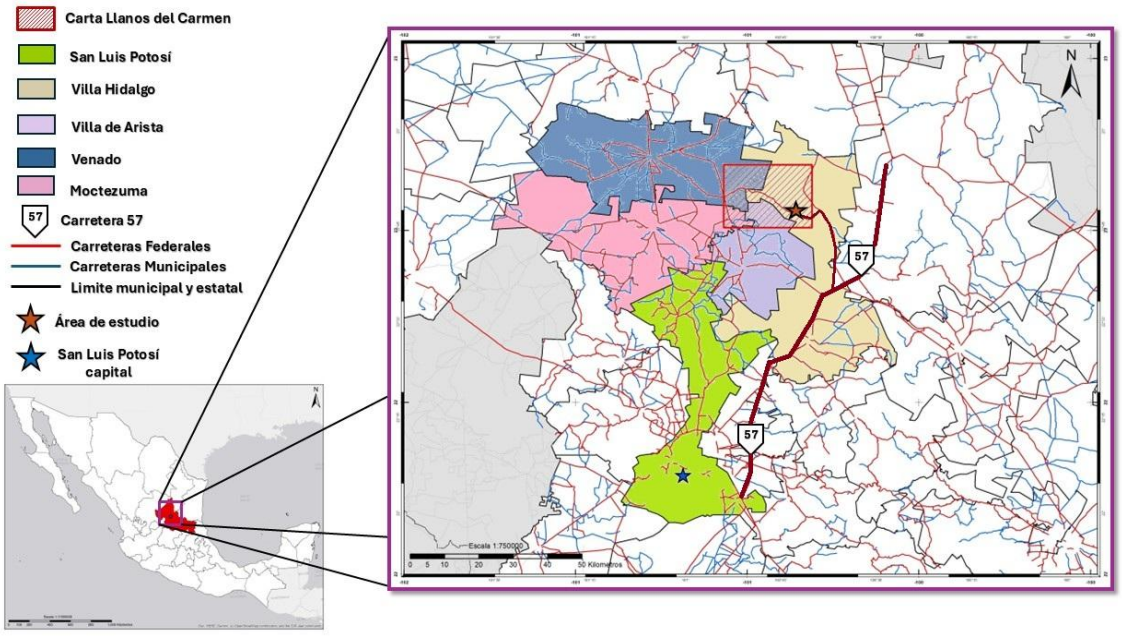


Figura 4-. Mapa de localización del área de estudio y vías de comunicación.

I. Marco geológico regional

La zona de estudio, a nivel regional, comprende el límite entre dos elementos paleogeográficos, estos elementos son la Plataforma Valles- San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México, dicha cuenca se localiza en la porción central del país y continua hacia la porción noreste del estado de Durango y sur-oeste del estado de Chihuahua en lo que algunos denominaron El Mar Mexicano. se trata de una cuenca sedimentaria con un volumen de Aproximadamente 700, 000 km^3 en el que se han incluido sedimentos marinos del Triásico Tardío, Jurásico y Cretácico (Carrillo-Bravo, 1971). Esta cuenca tiene sus límites al oriente con la PV-SLP y al poniente en gran parte es cubierta por los flujos volcánicos de la Sierra Madre Occidental, al norte colinda con bloques elevados como el bloque de Coahuila y en parte llego a tener una conexión con cuencas como la cuenca de

Chihuahua, mientras que al sur es cubierta por los productos volcánicos del Cinturón Neovolcánico Transmexicano.

Casi todos los sedimentos marinos que se hallan en la cuenca fueron depositados en aguas profundas, a excepción de las calizas que se encuentran en la base del Jurásico Tardío, además es posible que se acumulara una secuencia sedimentaria marina mesozoica de más de 5,000 m de espesor, que se inicia en el Triásico Tardío y termina a finales del Cretácico. Aunque estrictamente la historia de la Cuenca Mesozoica del Centro de México inicia con depósitos continentales a marino someros del Jurásico Medio y la transgresión marina que sigue a la apertura del Golfo de México, siendo en este sentido las rocas Triásicas, depósitos ocurridos en la cuenca paleopacífica. El Triásico Superior es de tipo continental en las porciones, noreste, este y sur de México, en donde se halla integrado por limolitas rojas y verdes, conglomerados y areniscas de cuarzo. Para las rocas volcánicas de la Formación Nazas ha quedado demostrada una edad del Jurásico Inferior a Medio (López-Infanzón, 1986, Barboza-Gudiño et al., 2008, 2021, Lawton & Molina-Garza, 2014).

En la porción central, occidental y noroccidental de México durante el Jurásico Medio a Superior, se desarrolló una transgresión marina que marcó el inicio de la formación de la Cuenca Mesozoica del Centro de México.
Durante el Jurásico Medio toda la región estuvo emergida y se depositaron sedimentos arcillo-arenosos rojos de tipo continental de la Formación La Joya. En el Jurásico Tardío se presenta una nueva subsidencia de la cuenca, la cual da lugar a una transgresión marina y al depósito de un complejo sedimentario de aguas someras, representado por calizas biógenas, calizas clásticas y dolomías de la Formación Zuloaga, de edad Oxfordiano; este paquete sedimentario es de espesor variable y se encuentra íntimamente relacionado a las irregularidades del paleorrelieve. La profundidad del mar se incrementa durante el Kimmeridgiano-Tithoniano y esto favorece el depósito de una sección de calizas arcillosas con pedernal y lutitas correspondientes a la Formación La Caja.

En el Aptiano y Albiano-Cenomaniano, en la región correspondiente a la Cuenca Mesozoica del Centro de México, continuó la subsidencia y ello dio lugar a una sección carbonatada, con pocas arcillas, de más de 900 m de espesor, depositada en aguas profundas; simultáneamente, en los límites de la cuenca con la Plataforma Valles-San Luis Potosí, se depositaron turbiditas calcáreas derivadas de los bancos arrecifales que se desarrollaron sobre dicha plataforma. En donde se reconocen evaporitas de la Formación Guaxcamá del Cretácico Inferior y hacia el Cretácico Superior una serie de unidades pre-arrecifales, una barrera de parches arrecifales y depósitos post-arrecifales o lagunares, siendo la unidad más representativa, la Formación El Abra y en el talud de la misma plataforma, la Formación Tamabra.

El Cretácico Superior se encuentra representado por una secuencia arcillo-arenosa en su base (Formación Indidura) y otra arcillo-arenosa de tipo flysch en su cima, (Formación Caracol), todo este conjunto litológico tiene un espesor de más de 1,000 m, y marca el cierre de la depositación marina en el área, el carácter turbídico de

los sedimentos indica su origen sinorogénico y la fuente de suministro se postula hacia el occidente. Este flysch corresponde a la primera evidencia de movimientos orogénicos en la región.

A lo largo de la historia geológica de México, se han suscitado algunos acontecimientos relevantes, tal es el caso de la apertura del golfo que dio lugar al origen de la Plataforma Valles -San Luis Potosí, o la orogenia Laramide que produjo la deformación de la Sierra Madre Oriental (SMO). Finalmente, la creación del Cinturón (o Faja) Neovolcánico Transmexicano.

Capítulo 1 Marco geológico estructural de la parte sur de la carta Llanos del Carmen.

1.1 Estratigrafía

Cretácico

Formación El Abra

Muir, (1936) aplica el nombre Formación El Abra para un grupo compuesto por dos facies, La Taninul, su localidad tipo en el puente Taninul al oeste de la estación Taninul sobre el ferrocarril Tampico- San Luis Potosí, constituida por caliza color gris claro capas lenticulares de calza bioclástica con textura rudstone- greinston (SGM, 2009). Mientras que la facies El Abra, con localidad tipo en estación El Abra a 9.5 Km al oriente de Ciudad Valles San Luis Potosí, está constituida por carbonatos de color gris estratificados, sin horizontes internos, que varían de 30 cm a 3 m de espesor Suter, (1990).

Según Aguayo- Camargo (1975), la Formación el Abra consiste en mudstone color crema a gris interestratificado con wackestone bien estratificado de 1 a 5 m de espesor. Con base en el contenido fósil de la especie *Bolivina Colemani* se propone una edad del Albiano al Maestrichtiano (Bunet, 1963; Coogan, 1973; Barboza-Treviño, 2022).

Fósiles; para la facies el Abra se pueden encontrar *Miliolidos*, capas estromatoliticas, otros organismos bentónicos como *Gasterópodos*, pelecípodos y ostrácodos y para la facies Taninul se aprecian bancos de *Rudistas* asociados a mudstone, wackestone y packstone y además biohermas tabulares de *Rudistas*.

Formación Tamabra

La acepción original de esta formación es para designar al conjunto de facies calcáreas en la zona de transición entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México, situada al occidente. Así mismo, a la facies de interior de plataforma o Caliza El Abra, a la facies de borde de plataforma o Caliza Taninul, y a la facies de Cuenca o caliza Tamaulipas (Heim, 1940). Más

recientemente se emplea el término de Formación Tamabra para los depósitos de talud de la plataforma carbonatada, independiente de las unidades El Abra, Taninul y Tamaulipas (Suter, 1990). La litología para este depósito de talud es variable en cuanto a texturas y espesores se refiere (*en* SGM, 2007). Estudios sobre estos aspectos son señalados para la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí por López-Doncel (2003) y Rodríguez-Hernández et al. (2009). Estos autores describen las brechas calcáreas con texturas que varían de floatstone-rudstone de clastos de aguas profundas, bioclástos y clastos de aguas someras resedimentados, caracterizados por espículas de esponja, fauna pelágica, bioclástos de zonas postarrecifales, como algas, esponjas, corales, rudistas y braquiópodos, foraminíferos (Orbitolínidos y Miliólidos) y granos no esqueletales como pellets y ooides.

Formación “El Abra Superior “

En las cartografías de la Mesa Central, que abarcan parte del margen occidental de la PV- SLP, se han cartografiado estratos de calizas arrecifales y lagunares del Cretácico Superior, incluso por encima del Turoniano, como Formación El Abra, referida como “El Abra Superior”. Lo anterior es señalado por Barboza-Gudiño et al. (2000), quien precisa que, en cartografías previas, aledañas a la carta Llanos del Carmen, se tomó este criterio ante la dificultad de separar las capas correspondientes a la Formación El Abra del Albiano-Cenomaniano, de capas del Turoniano-Senoniano, equivalentes a la Formación Tamasopo, en lo que se presenta como una sucesión continua de capas de calizas arrecifales y lagunares que abarcan todo este amplio rango estratigráfico.

La sucesión de estratos correspondientes a esta unidad en la porción occidental de la PV-SLP es cartografiada por Barboza-Gudiño et al. (2000) como” caliza-marga “y descrita como una alternancia de bancos de caliza esparítica con horizontes delgados de aportes terrígenos, en donde las calizas ocurren en forma de capas gruesas hasta bancos de poco más de 1 m de espesor con contenido abundante de radiolítidos e hippurítidos.

Esta unidad sobreyace a las calizas arrecifales y postarrecifales del Albiano-Cenomaniano en un límite transicional y difícil de ubicar con precisión en campo, por lo que es difícil establecer su espesor estableciéndose solo un espesor estimado de 500 m para la sucesión de calizas arrecifales desde el albiano hasta el Senoniano inferior en la zona (Barboza-Gudiño et al. 2000). Lateralmente y hacia su cima, pasa a calizas arcillosas con frecuentes plegamientos pre-litificación de la Formación Soyatal.

Formación Soyatal

White (1948) hizo la primera descripción de esta unidad, que posteriormente fue reportada, aunque no de manera formal por Wilson et al (1955) a quienes se atribuye su definición. Estos autores la describen como una secuencia de calizas gris oscuro-interestratificadas con lutitas calcáreas de edad Turoniano. La localidad tipo se encuentra en Soyatal, Querétaro, en el borde occidental de la plataforma Valles-San Luis Potosí. Esta unidad consiste en una secuencia de calizas y margas en capas medianas a delgadas de color gris intermedio, que intemperizan en un color amarillento y alternan con capas de limolitas y areniscas finas, con laminación interna de las capas y una estratificación ondulosa, parecida a un tipo de "boudinage", así como zonas con numerosas estructuras de "slumping" o pliegues sinsedimentarios y en ocasiones también fallas sinsedimentarias en magnitudes del orden de centímetros hasta un metro. De acuerdo con (Czerna y Bello, 1963), puede sobrepasar los 200 m de espesor.

Formación Cárdenas

Myers, (1968), describe esta unidad como una secuencia compuesta por rocas clásticas de grano fino interestratificadas con calizas, su localidad tipo se encuentra cerca de Cárdenas San Luis Potosí en un sinclinal asimétrico de la Sierra Madre oriental.

Edad de Maastrichtiano, Esta unidad fue depositada al final del Cretácico superior en la Plataforma Valles - San Luis Potosí cuando ésta fue afectada por la entrada de sedimentos terrígenos clásticos que llegaban desde el occidente reflejando los episodios iniciales de la Orógeno Mexicano (Salvador, 1987; Fitz-Díaz et al., 2018). La Formación Cárdenas sobreyace discordantemente sobre la Formación El Abra, ambas unidades son divididas por un conglomerado basal.

Paleógeno

Conglomerado Oligomíctico

En la cartografía hacen referencia a un conglomerado que subyace a la secuencia volcánica cenozoica presente en el área. Este conglomerado consiste en cantos rodados de calizas de la Formación El Abra, de hasta 20 cm. de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa con una estructura tipo "clast supported", siendo el espesor total de la unidad en este afloramiento, no mayor de 10 m, pero puede ser variable. El conglomerado sobreyace de manera discordante a lutitas y capas delgadas de areniscas de la Formación Cárdenas y subyace a Ignimbritas riolíticas, probablemente del Mioceno, por lo que la edad de este depósito se supone entre el Eoceno y el Mioceno, dado que dicho depósito tendría lugar después del levantamiento de la sierra (Paleoceno-Eoceno) y previo al vulcanismo (Mioceno). El ambiente de depósito es de carácter aluvial, habiéndose originado en probables abanicos aluviales y terrazas o rellenando canales.

Dacita-Andesita

Con este nombre se describen rocas subvolcánicas y volcánicas que ocurren en forma de domos y lóbulos que derraman a partir de los mismos. En el campo, dados sus rasgos petrográficos y su posición estratigráfica estas rocas han sido comparadas con la Dacita Jacavaquero, propuesta formalmente por Labarthe et al (1982), aunque los análisis petrográficos y la geoquímica de óxidos mayores arrojan un mínimo o casi nulo contenido de cuarzo, lo que las hace aparecer como una andesita y en este caso una andesita rica en K. En la Carta Llanos del Carmen, rocas de aspecto y edad similares, ocurren en forma de un grupo de pequeños domos al norte de La Escondida, en la parte sur de la carta, la roca es de textura felsítica que puede variar a fluidal, con cierta orientación y porfirítica, sus colores más característicos varían del gris rosado y violáceo, al café rojizo claro.

Neógeno

Ignimbrita

Esta roca es de color rosado, con tonalidades blancuzcas y verdosas, estas últimas frecuentemente en las cavidades que forman las estructuras tipo “fiamen” típicas de las rocas ignimbríticas. Los componentes principales son minerales microcristalinos en forma de una matriz cuarzo-feldespática, producto de un proceso de desvitrificación (25-50%), cuarzo (5 a 25%), feldespatos (5-25%), minerales opacos (5 a 25%), fragmentos líticos, apatito y circón. (estos tres últimos componentes, en proporciones menores al 5%). La roca es compacta, de textura porfirítica y eutaxítica, regularmente soldada, con un claro origen piroclástico. El espesor de estas cubiertas ignimbríticas es en todos los casos menor a 20 m y en la mayoría de los pequeños remanentes dispersos en el área cartografiada, es del orden de 1 a 2 m.

Conglomerado Polimíctico

Se ha diferenciado esta unidad por su carácter polimíctico y por su posición estratigráfica por debajo de las rocas basálticas del área. Se puede observar en los alrededores del Potrero La Repartición, en la parte central de la carta y al oriente de la Mesa El Pollo, hacia la porción nor-oriental del área. Esta secuencia es de hasta 100 m. De un conglomerado polimíctico con fragmentos bien redondeados de calizas, calizas arcillosas o margas, riolitas o Ignimbritas riolíticas, dacitas, pedernal y jasperoides, en una matriz arenosa y arcillosa cementada por carbonatos y sílice. El diámetro promedio de los fragmentos o cantos es de entre 5 y 8 cm, existiendo lentes con granulometría más fina y algunos lentes con fragmentos mayores por lo que se llega apreciar una estratificación subhorizontal un tanto irregular, siendo en general su estructura interna, del tipo de soporte de clastos.

Basalto

Derrames basálticos o de andesitas basálticas ocurren en dos centros volcánicos principales que se pueden reconocer claramente dentro de la Carta Llanos del Carmen. Esta roca se presenta en forma de derrames y se pueden reconocer fuentes alineadas sobre trazas de fallas noroeste o fuentes de tipo fisural con la misma orientación general. La roca se presenta comúnmente compacta, microcristalina a microlítica porfídica, en ocasiones vesicular o amigdaloide, siendo calcita o sílice amorfo blanco, el principal relleno de dichas amígdalas. Los componentes principales son plagioclasas (oligoclasa-andesina) en una proporción mayor al 50% y piroxenos (menos del 25%) además de minerales opacos, apatito, olivino y componentes secundarios como clorita epidota, sericita, minerales arcillosos. Por lo que su composición correspondería a un basalto o a andesita basáltica, el espesor de esta unidad es muy variable desde unos centímetros en la periferia de algunos derrames aislados, hasta 150 m. en la Mesa Llano El Pollo.

Pumicita

Depósitos de material fino, rico en sílice, es común en la región y dentro de la carta Llanos del Carmen, ha sido cartografiada solo en la esquina sureste, en donde se observan depósitos más puros y de mayores dimensiones. Su edad se considera menor de 100 Ka. y su origen puede ser incluso una erupción volcánica de algún estrato volcán o fuente en la zona del Cinturón Volcánico Transmexicano, como pueden ser el Volcán de Colima o la zona de La Primavera al poniente de Guadalajara. La pumicita encontrada en la Carta Llanos del Carmen es probablemente correlacionable con la pumicita El Desierto del campo volcánico de San Luis Potosí (Labarthe et al, 1982).

Aluvión

Los depósitos aluviales en este caso son limos y arcillas calcáreas, además de gravas y arena, en grandes extensiones del área de estudio. La figura 5 muestra la secuencia estratigráfica generada a partir de la carta geológica y los materiales que aparecen en la zona elegida para realizar las mediciones de este trabajo.

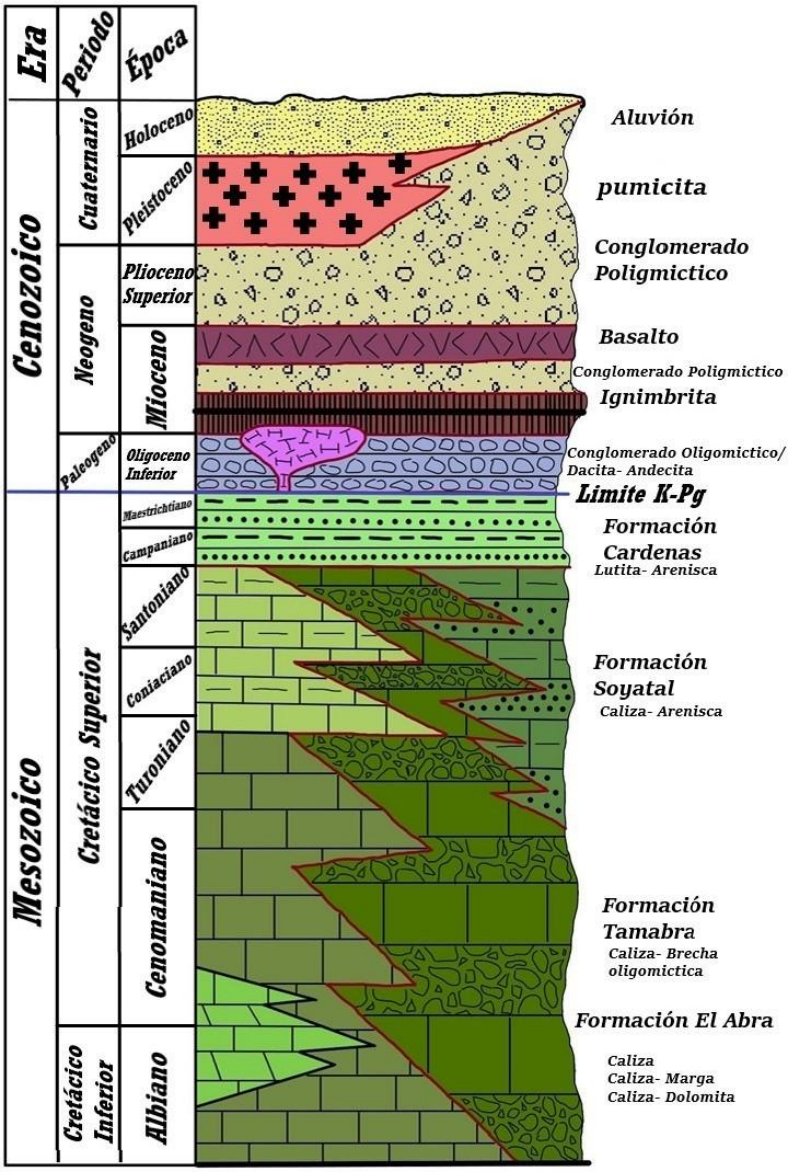


Figura 5-. Columna estratigráfica general, del área de estudio, modificada de Barboza-Gudiño et al. (2000).

1.2 Análisis estructural

El análisis estructural para este trabajo es una herramienta para descartar posibles movimientos que afectaron el depósito de la secuencia sedimentaria plasmada en las columnas estratigráficas, además de aportar más características que describan la zona de estudio y lo que se logra ver en dichas secuencias, si existen cambios significativos para cada una de ellas o si, por otro lado, todas las columnas sugieren una sola secuencia que se logre explicar de manera clara.

El área de estudio se encuentra en una zona donde predomina la geomorfología de llanos, cañones y lomas, existen dos lineamientos de serranías importantes pertenecientes a la sierra Las Pilas, en ella se ubican los puntos elegidos para las columnas medidas y dicha sierra es la estructura de mayor importancia presente en

la carta. Algunas otras estructuras destacables son Cabalgaduras y fallas inversas productos de esfuerzos compresivos en un medio frágil a semi-dúctil con trasporte tectónico E-NE donde las calizas de la Formación El Abra cabalgan a lutitas y limolitas de la formación Cardenas. Las fallas de orientación NW o la reactivación de fallas pre-oligocenicas de componente lateral izquierda, que en la zona aparecen fallas de tipo normal con una orientación general NW, muestran indicios de una componente lateral izquierda y asociación a la alineación de pequeños volcanes con extrusiones de basalto fisúrales y zonas de mineralización, el ejemplo seria la Falla El Fénix, de acuerdo con Barboza-Gudiño et al. (2000).

Las Fallas NNE, se trata de fallas de tipo normal con una componente lateral derecha, que cortan a fallas de orientación NW, más antiguas, el ejemplo de mayor magnitud es la falla Llano del Carmen, pone la Formación Cardenas, el techo o bloque hundido en contacto con la formación el abra, sobre el piso o bloque levantado. Las fallas con orientación NW, reactivación de fallas pre-oligocenicas con componente lateral izquierda y asociación con la alineación volcánica y extrusión de basaltos fisúrales, con las zonas mineralizadas, el ejemplo de esto es la falla El Fénix, al SE de la zona de estudio.

Los pliegues simétricos con una ligera inclinación hacia el E-NE, estos pliegues son cerrados, paralelos, simétricos pero ligeramente dirigidos hacia el E y NE, la ocurrencia de estas estructuras está asociada a la periferia de la plataforma, en partes arcillosas con facies de plataforma y facies de talud con granulometría fina y estratificación delgada, como una franja deformada de sedimentos plásticos, que fueron comprimidos contra la plataforma de un material rígido, el ejemplo de esto es el anticlinal de la sierra El Meco, un anticlinal buzante de orientación NE, ligeramente asimétrico, en una forma que asemeja a una rodilla con vergencia al NE, así como una serie de anticlinales y sinclinales con orientación al N-NW.

Por otro lado, los pliegues mayores de tipo cajón o cofre cuentan con una orientación general al NE y amplitud de onda de varios kilómetros, el ejemplo es el anticlinal de la sierra “Las pilas”, se considera que tiene una extensión de la sierra al poniente y sur poniente de llano del Carmen, hacia la sierra de las pilas.

Estas estructuras son amplias, uniformes con una sección de tipo cajón o cofre, que se delimitan por flexiones en ambos flancos, donde se pueden presentar desarrollo de pliegues internos menores o secundarios, suabes con una ligera vergencia al E y NE, con un desarrollo parcial de clivaje pizarroso de orientación N-NE en horizontes arcillosos.

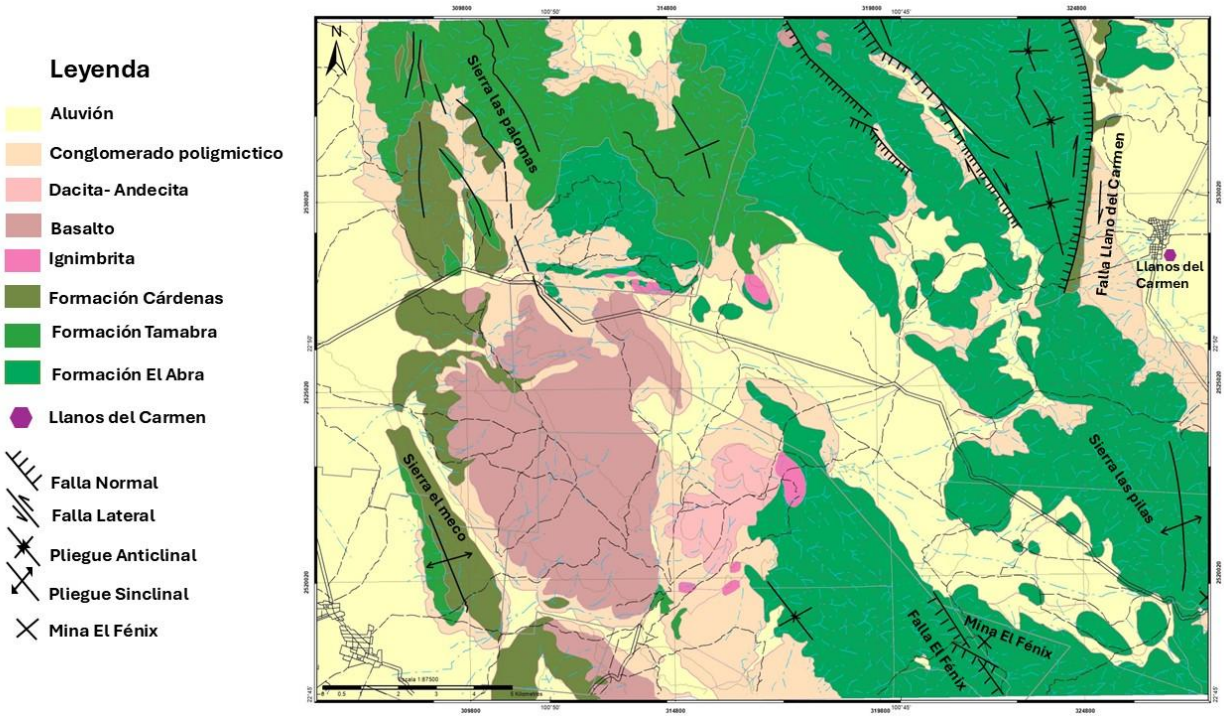


Figura 6-. Mapa geológico- estructurar de la porción SE de la carta Llanos del Carmen con clave F14-A54, modificado de Barboza-Gudiño et al. (2000).

Sección A-Á

Con orientación SW-NE la sección A-Á fue generada para este trabajo con la única finalidad de describir la zona de estudio de manera gráfica y detallada sobre la litología y datos estructurales relevantes. En cuanto a la litología o tipos de roca presentes en el área se dio una descripción de la roca en el apartado de estratigrafía, presente en esta investigación, por lo cual, en esta parte solo se hará una breve mención sobre estas rocas.

En la Figura se muestra la sección A-Á, en ella se aprecian ocho tipos de litologías diferentes, estos son; a la base se pueden encontrar calizas de la Formación El Abra, caliza-arenisca perteneciente a la Formación Soyatal, lutita-arenisca de la Formación Cárdenas, en la parte derecha de la sección se aprecia la falla Llanos del Carmen, por otra parte, se observan las rocas del cenozoico como dacita-andesita y pumisita, un pequeño depósito de ignimbrita y el material de relleno como el conglomerado polimíctico y el aluvión.

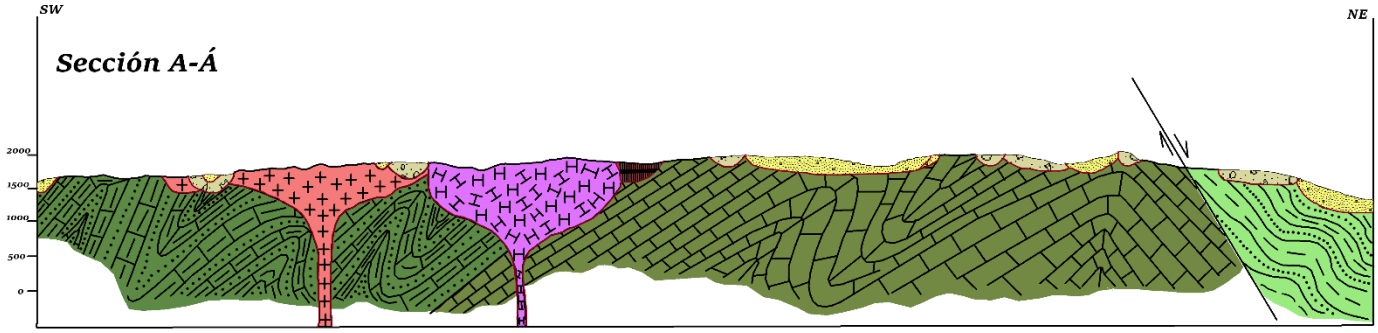
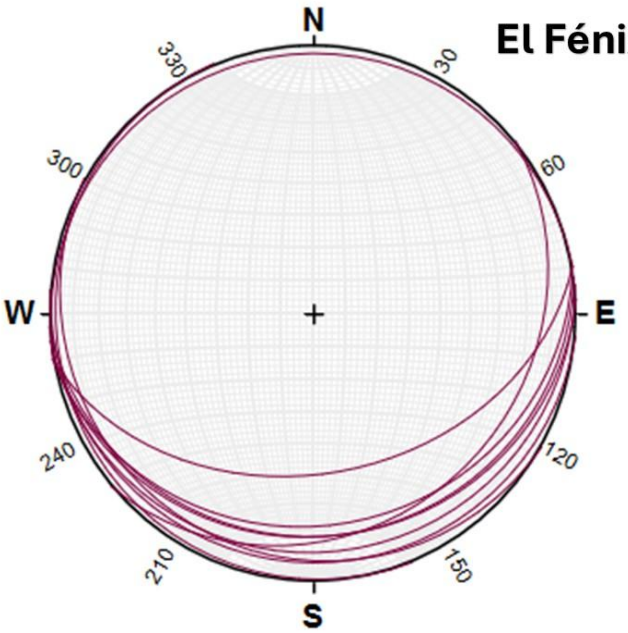


Figura 7-. La sección A-A´, con rumbo SW- NE. Se agregará una sección a mayor escala para una mejor visualización.

Estereogramas

La visión general que dan los estereogramas es la de planos de estratificación con buzamiento suave orientados principalmente al Sur y Sur- Oeste, por lo que, las ligeras diferencias que se observan entre zonas pueden ser causa de la ubicación en bloques distintos y separados por fallas normales, es decir, su basculante varía entre cada uno de los bloques.

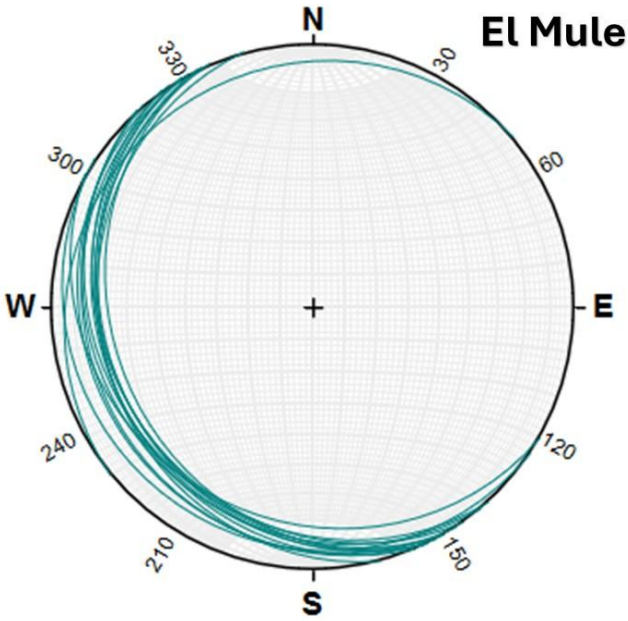


El Fénix

Rumbo	Inclinación
185	08
147	12
177	18
170	22
210	10
172	18
170	40
140	20
248	03
350	04

Tabla 1-. Datos para estereograma El Fénix.

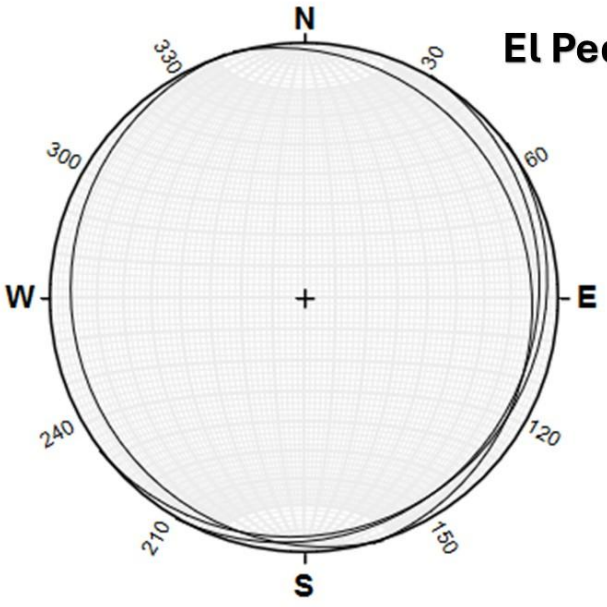
Figura 8-. Estereograma para datos de estratificación S0 tomados en campo en el perfil El Fénix.



Rumbo	Inclinación
255	20
320	10
214	10
240	22
245	25
237	14
244	22
210	20
242	15
235	22
228	20
240	20
247	20
230	18

Tabla 2-. Datos para estereograma El Mulero.

Figura 9-. Estereograma para datos de estratificación S0 tomados en campo en el perfil El Mulero.



Rumbo	Inclinación
120	10
143	09
74	12
252	10

Tabla 3-. Datos para estereograma El Pedernal.

Figura 10-. Estereograma para datos de estratificación S0 tomados en campo en el perfil El Pedernal.

Capítulo 2 Columnas medidas y bioestratigrafía del área de El Fénix.

En el área de estudio fueron localizadas, evaluadas y descritas tres columnas estratigráficas en un área de 1.50 km², para acceder a dichas zonas se realizaron varias visitas y rutas de diversos kilómetros, ya que son de difícil acceso.

Por esta razón la camioneta, ubicada en un área local llamada “Llano El Mulero” (Figura 11), fue el punto de partida para definir las rutas, descritas a continuación. La primera columna fue El Fénix, ubicada a 1.21 km, dicha zona, fue elegida por su cercanía y geomorfología, siendo algunas de estas, lomas suabes con inclinaciones leves de los estratos, lo que brinda la característica principal para esta decisión, proporcionando así la construcción de una sección vertical con mayor facilidad realizando un caminamiento a lo largo de una ladera.

La segunda columna estratigráfica medida fue El Mulero, ubicada a 0.93 km del punto de partida, fue elegida por su posición, ya que pertenece a un frente de la sierra las pilas, en el mismo lineamiento o bloque estructural que la primera columna, ya mencionada, El Fénix. y finalmente la tercera columna estratigráfica medida fue la nombrada El Pedernal, que se ubica a 2.08 km del punto de partida, los motivos para seleccionar esta zona a la orilla del arroyo fueron de carácter visual en campo directamente, por la presencia de bioturbación en una secuencia de capas. La descripción a mayor detalle de estas columnas aparece más adelante en este trabajo y la descripción de cada capa medida en campo está ubicada en la sección de anexos.

En términos generales la litología local está representada por material de origen calcáreo con algunas variantes en su presentación, que serán descritas a continuación de una manera generalizada, para una consulta especifica de cada estrato, se presentan en la parte de anexos de este trabajo las tablas con contenido detallado de cada una de las columnas.

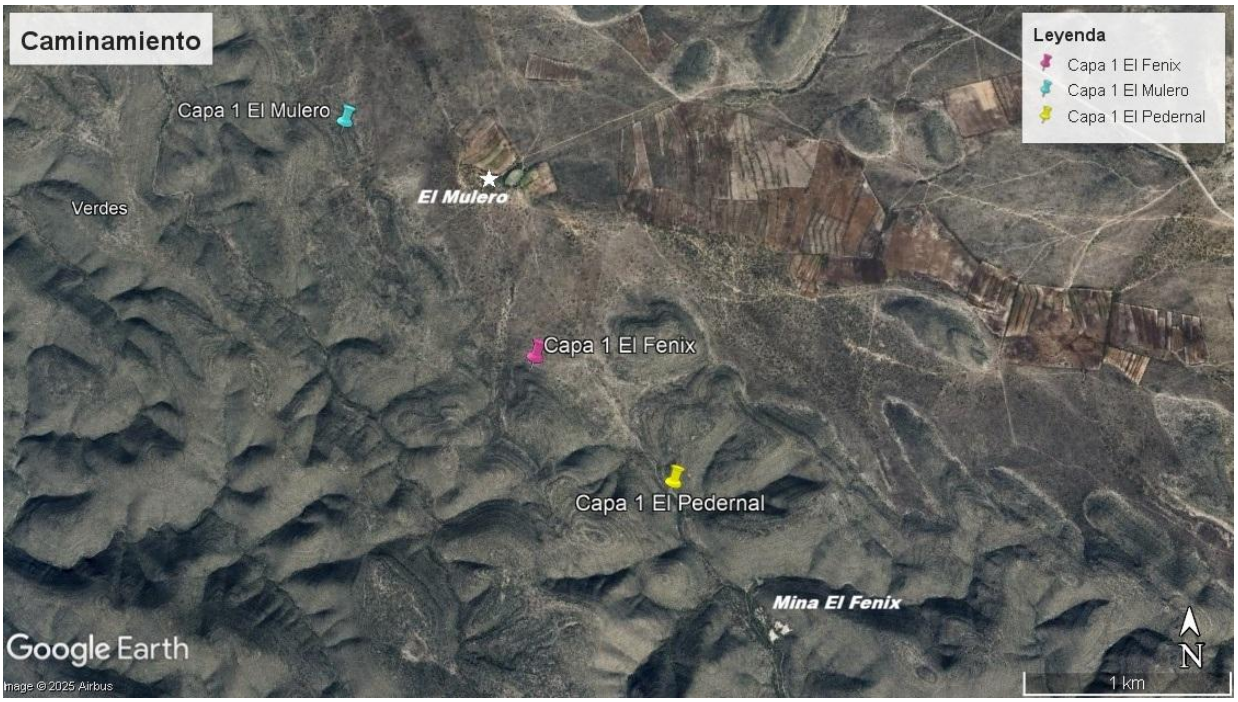


Figura 11-. Mapa tomado de Google earth, modificado para localizar la ubicación de cada base de las columnas estratigráficas medidas.

2.1 Descripción general de columnas estratigráficas

Los resultados capa por capa de cada una de las columnas aparecerán en tablas en la parte donde se describen las secuencias medidas, las descripciones que aparecen a continuación, solo dan una vista generalizada del material de la zona.

Caliza

Roca bien consolidada color gris intermedio a gris claro, en algunos estratos se puede apreciar una tonalidad más oscura en comparación con otras capas de caliza. Los espesores van de los 8 cm a 1.45 m, en algunas de estas capas o bancos se presentan Bioclástos y en otras fósiles completos. Se aprecia oxidación, recristalización, de calcita principalmente en vetillas, la presencia de estructuras de disolución por presión, llamadas estilolitas, laminación delgada y en casos aislados la aparición de pedernal negro en estructuras de franja o barras.

Algunas capas cuentan con franjas interrumpidas y/o nódulos de pedernal en tonalidades oscuras a negro, como es clásico en este material. Lo que por sí solo indicaría una profundidad mayor por la forma en se deposita, aunque en otras ocasiones el sílice viaja en los estratos para poder concentrarse en un punto medio del mismo, pero siendo un marcador de ciclos de depósito en las secuencias estratigráficas por toda la zona, porque el plegamiento no toma relevancia para suponer que únicamente se trata de la misma franja de pedernal repitiéndose en la secuencia, tomando en cuenta que las franjas, bandas y nódulos no cubren

kilómetros de extensión y son, más bien, concentraciones o fragmentos aislados de por lo metros, algunos metros a centímetros.

El pedernal aparece en los perfiles El Fénix y El Pedernal, en franjas, bandas a manera de lentes y en ocasiones solo como acumulaciones de este material en puntos de los estratos. Los colores con los que se identificó van del negro a una mezcla entre gris oscuro a blanco, donde se observa una textura interna semejante a una cebra, como se observa en la figura 12.

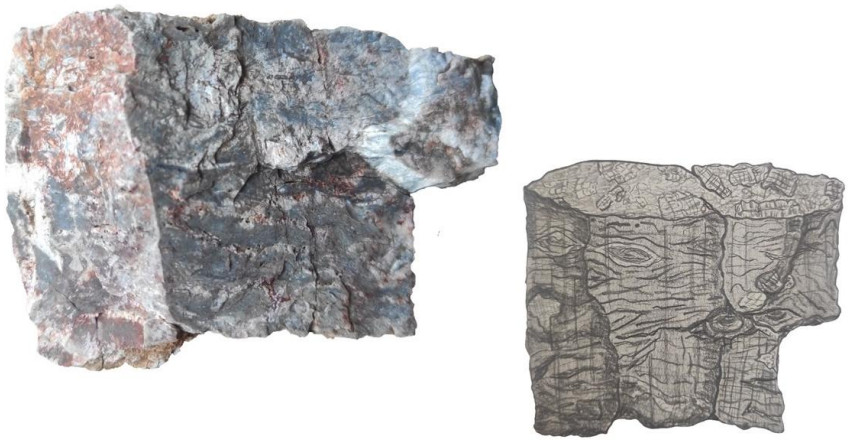


Figura 12-. Fotografía de un fragmento de pedernal gris con franjas blancas, el dibujo representa algunos de los rasgos lenticulares que siguen dichas franjas en el fragmento.

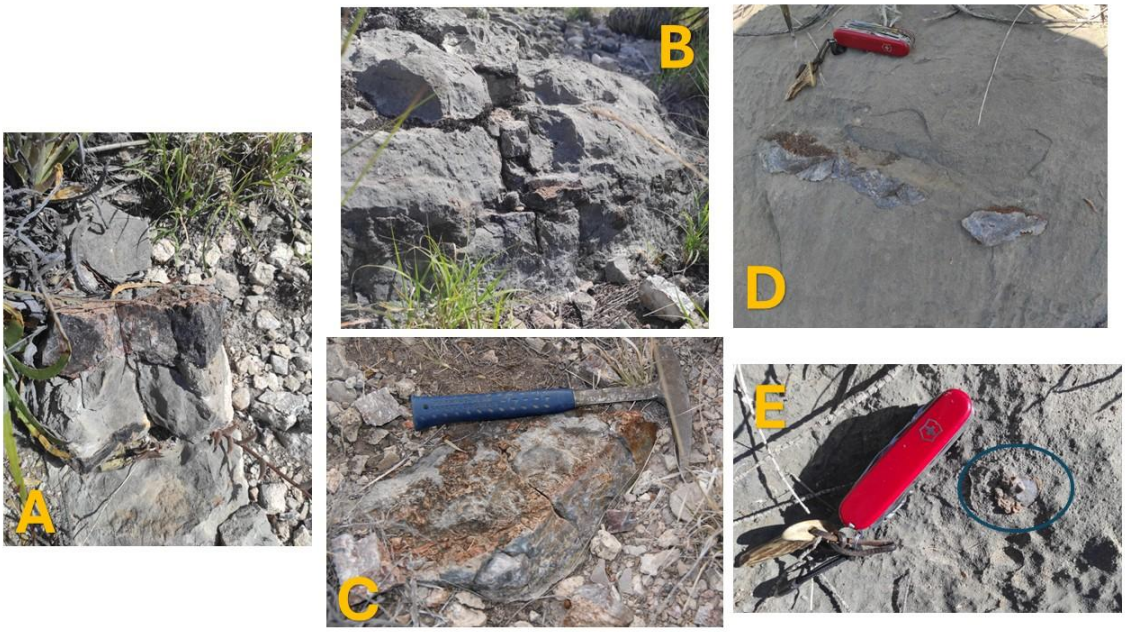


Figura 13-. Recopilación de fotografías en campo donde aparece pedernal en las diferentes columnas A y B columna El Fénix, C columna El Mulero, D y E columna El Pedernal.

Caliza limo-arenosa

Se trata de tramos con capas de caliza cubiertas por fragmentos caídos de una caliza de grano grueso, estos fragmentos con tonalidad rojiza a violeta son de diversos tamaños algunos angulosos y otros semiredondeados, los espesores de estos horizontes van de los 30 cm a los 2 m.

Esta caliza cuenta con la peculiaridad de tener fragmentos rodados con marcas de bioturbación, además aparece en las tres columnas medidas y contiene fósiles como otras capas de caliza en el área, la razón por la que estas capas cubiertas por los fragmentos no se toman en cuenta individualmente es porque no son medibles desde el punto de vista en el que no se puede apreciar una base y una cima definidas entre ellas, además de no mostrar una continuidad entre ellas.

En la figura 14 se observa un tramo con capas cubiertas, se distinguen algunos estratos y su continuidad, pero entre ellos el material es la caliza limo-arenosa como relleno.



Figura 14-. Fotografía en campo de un tramo de caliza limo-arenosa en la columna el mulero.

Caliza Arcillosa

Comparados con los estratos de caliza del perfil El Pedernal, en esta secuencia se observa una caliza de tonalidad más amarillenta a gris verdosa, dicha caliza fue denominada caliza arcillosa en campo y tiene la característica de que en ella se localizó la mayor cantidad de marcas de bioturbación, además en estas capas se documentan estas marcas en los estratos, ya que en otros casos en la zona las marcas están ubicadas en fragmentos caídos sobre arroyos.



Figura 15-. Fotografía en campo de la Capa 06F, material identificado en la zona de estudio como caliza arcillosa, Formación El Abra.

Horizonte de material blando

Material de color crema a blanco, no consolidado y de apariencia suave, cuenta con espesor de 10 cm como máximo. Se encuentran pocos horizontes de este, siendo la capa 18 con clave de muestra LIC24-18F, perteneciente al perfil El Fénix, la única registrada de manera clara.

En cuanto al perfil El Pedernal presenta un horizonte de material blando con la clave LIC24-04P, de tonalidad crema a amarillenta, que contiene clastos de las capas denominadas como caliza arcillosa, lo que se podría considerar una transición en cuanto al depósito y la consolidación de dicho material.

El Saskab o Sascab, es un término de origen maya que significa tierra blanca, para nombrar a un material de origen calcáreo característico de la península de Yucatán, es una caliza no consolidada o descompuesta. No confundirse con Sabkha.

Geológicamente no existen estudios formales acerca de este material por esta razón la información fue consultada en Littmann (1958).



Figura 16-. fotografía que muestra el horizonte blando encontrado en la columna El Fénix.

Simbologías para columnas

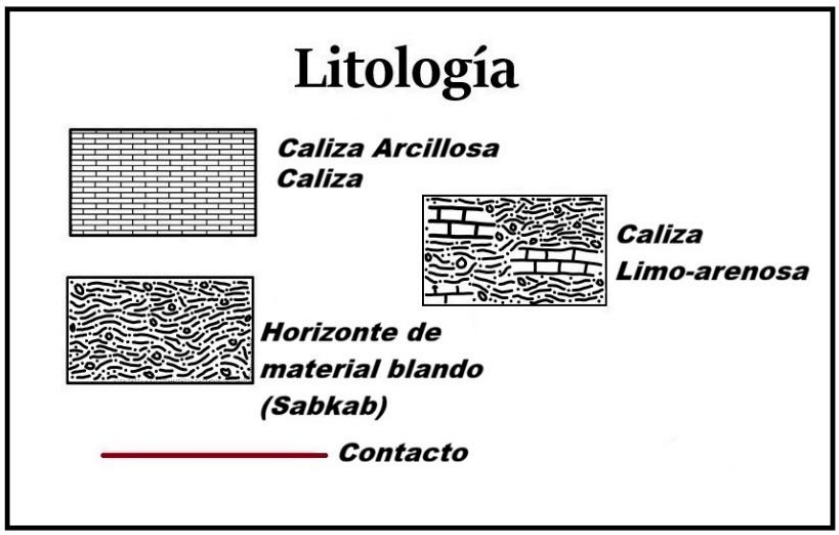


Figura 17-. Simbología para litología de columnas, modificado de Barboza-Treviño (2022).

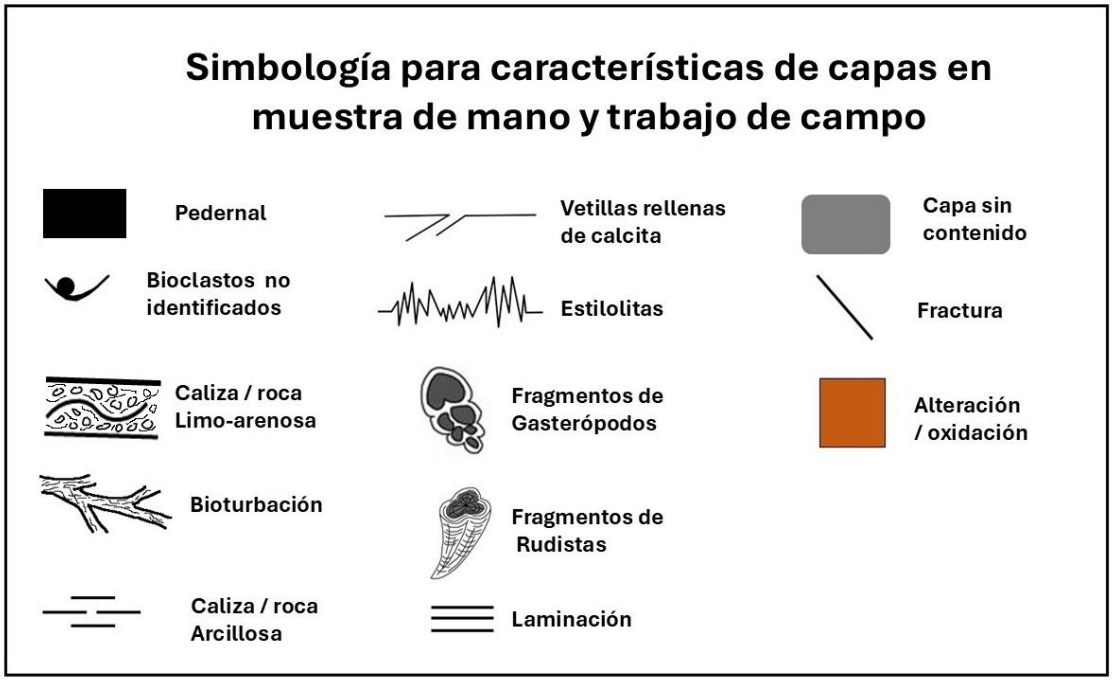


Figura 18-. Simbología para contenido de las columnas en campo y muestra de mano, modificado de Barboza-Treviño (2022).

Columna Estratigráfica El Fénix

La columna lleva este nombre por la cercanía a la mina “El Fénix”, esta columna cuenta con 91 capas dando un total de 54.8 m medidos y se divide en tres columnas para una mejor apreciación de estas capas. Las Columnas Fénix 1 y Fénix 2 se dividen en 30 capas, cada una, en cuanto a la columna Fénix 3 se divide en 31 capas. En dicha secuencia se logran documentar 61 estratos de roca caliza, 23 de caliza limo-arenosa y solamente un horizonte de material blando.

Si se describe la secuencia de manera general los ejemplos destacables son la figura 20, esta muestra una fotografía de las capas base, es decir el estrato LIC24-01F y el LIC24-02F, se trata de bancos de caliza de 40 cm y 1.25 m, en orden de posición, son bancos de roca caliza de tonalidad gris con bioclástos de Rudistas, se muestran cubiertas por vegetación y un fragmento de la capa 01F parece estar semienterrada. En cuanto a la figura 21, presenta otro ejemplo de las secuencias encontradas en campo, con estratos bien definidos en algunos tramos de menos de 1 m, las características vistas en campo de la columna se representan en las divisiones de las figuras 23, 26 y 29, en dichas figuras se observa de manera general la abundancia de fósiles y bioclástos de Rudistas y Gasterópodos, además de bioclástos de organismos no identificados, es decir que no cuentan con las características suficientes para determinar de qué tipo de fósil está presente en dichas capas. La Columna el Fénix 1 contiene una mayor variedad de características presentes en ella, registrando Alteraciones como oxidación, algo de

fracturas, pocas de tipo estilolitas en las capas 10F y 16F y pedernal en la capa 17F, por otra parte, las columnas Fénix 2 y Fénix 3 muestran únicamente dos características destacables, la laminación presente en la capa 54F y la presencia de pedernal en franjas en la capa 86F, respectivamente para cada caso.

Esta secuencia contiene un horizonte de material blando, característico para esta investigación, ya que presenta el aspecto en campo, de lo que se documentó en la localidad ya mencionada de Peña de Salazar, lo que refleja la primera aparición de uno de los principales indicadores que se buscan en el área nor-occidental de la PV-SLP.

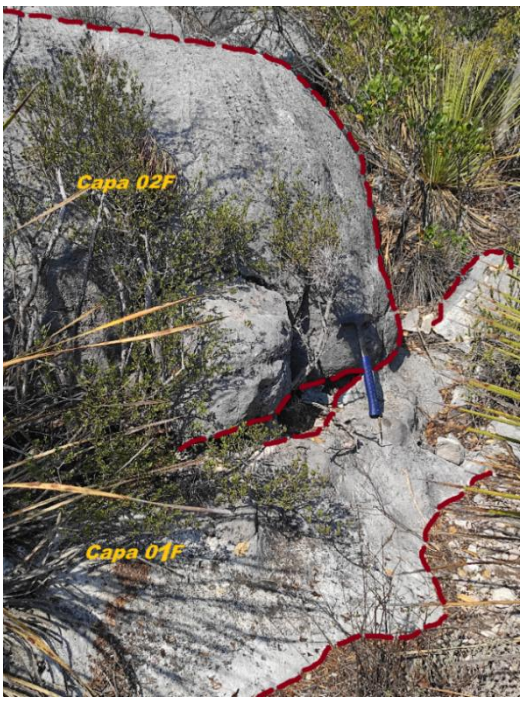


Figura 19-. Fotografía en campo de las capas 01F y 02F, pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio.

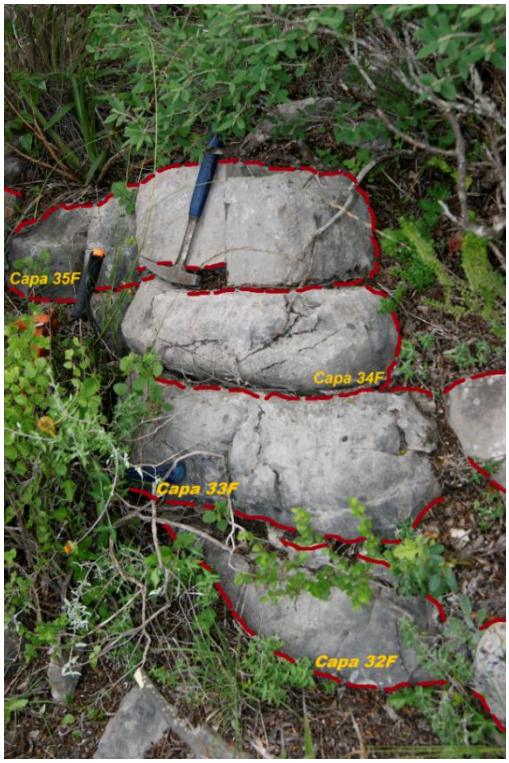


Figura 20-. Fotografía en campo de la secuencia de capas 32F a 35F, pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio.

No. Capa	Roca Material	Clave de muestra	Espesor	Caracteristicas
Capa 01	Caliza	LIC24-01F	40 cm	Tonalidad gris intermedio en superficie fresca a gris claro en superficie intemperizada, microesparitica.
Capa 02	Caliza	LIC24-02F	1.25 cm	Tonalidad gris intermedio a oscuro, microesparitica con fosiles de radiolitidos pequeños de no mas de 2 cm de diametro.
Capa 03	Caliza	LIC24-03F	45 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclastos de radiolitidos pequeños y abuandantes a la parte superior del banco.
Capa 04	Caliza limo-arenosa	LIC24-04F	1.2 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 05	Caliza	LIC24-05F	90 cm	Tonalidad gris intermedio a gris claro, esparitica con bioclastos pequeños sin identificar concentrados a la parte superior del banco.
Capa 06	Caliza	LIC24-06F	20 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos pequeños de radiolitidos y requinidos.
Capa 07	Caliza	LIC24-07F	45 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con bioclastos de radiolitidos.
Capa 08	Caliza	LIC24-08F	35 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con fosiles de requinidos, radiolitidos escasos y toucaceas.
Capa 09	Caliza	LIC24-09F	25 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con fosiles de radiolitidos y requinidos.
Capa 10	Caliza	LIC24-10F	40 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con bioclastos de radiolitidos y algunos planos paralelos donde se desarollan estilolitas.
Capa 11	Caliza	LIC24-11F	30 cm	Tonalidad gris claro, microespariticacon bioclastos de radiolitidos escasos de tamaño pequeño.
Capa 12	Caliza	LIC24-12F	15 cm	Tonalidad gris intermedio a gris claro, microesparitica con bioclastos escasos.
Capa 13	Caliza	LIC24-13F	28 cm	Tonalidad gris intermedio con toques violetas, esparitica con fragmentos bioclasticos de radiolitidos de hasta 3 cm de diametro.
Capa 14	Caliza limo-arenosa	LIC24-14F	1.75 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion, caliza arcillosa de tonalidad gris claro.
Capa 15	Caliza	LIC24-15F	22 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica sin fosiles o bioclastos visibles.
Capa 16	Caliza	LIC24-16F	26 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparitica sin bioclastos, su base es un estratificacion con desarrollo de estilolitas.
Capa 17	Caliza	LIC24-17F	23 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparitica sin bioclastos, con fractura concoidal y horizontes delgados de pedernal gris.
Capa 18	Horizonte Blando	LIC24-18F	30 cm	Tonalidad crema a blanco, se trata de una capa de material polvoso semiconsolidado, sin fosiles o clastos de roca.
Capa 19	Caliza	LIC24-19F	25 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con fragmnetos escasos de toucaceas de concha negra delgada.
Capa 20	Caliza	LIC24-20F	20 cm	Tonalidad gris amarillenta a violeta, es semejante a una caliza arcillosa como en los tramos de cubierta, no se observan fosiles.
Capa 21	Caliza limo-arenosa	LIC24-21F	4.20 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 22	Caliza	LIC24-22F	20 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos.
Capa 23	Caliza	LIC24-23F	30 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos.
Capa 24	Caliza	LIC24-24F	40 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos de toucaceas.
Capa 25	Caliza	LIC24-25F	55 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con fragmentos de radiolitidos.
Capa 26	Caliza	LIC24-26F	30 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con fosiles recristalizados de radiolitidos.
Capa 27	Caliza	LIC24-27F	67 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica
Capa 28	Caliza	LIC24-28F	35 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con bioclastos de toucaceas.
Capa 29	Caliza	LIC24-29F	40 cm	Caliza microesparitica con bioclastos pequeños y fragmentados de toucaceas.
Capa 30	Caliza	LIC24-30F	42 cm	Tonalidad gris claro, microespariticacon bioclastos pequeños dispersos, toucaceas o rudistas de concha delgada.
Capa 31	Caliza limo-arenosa	LIC24-31F	2 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 32	Caliza	LIC24-32F	22 cm	Tonalidad gris claro, micritica con bioclastos de posibles rudistas.
Capa 33	Caliza	LIC24-33F	30 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con fosiles de actionelas.
Capa 34	Caliza	LIC24-34F	19 cm	Microesparitica de tonalidad gris claro sin fosiles.
Capa 35	Caliza	LIC24-35F	24 cm	Microesparitica de tonalidad gris claro sin fosiles.
Capa 36	Caliza	LIC24-36F	12 cm	Tonalidad gris claro, micritica con fosiles aislados de radiolitidos.
Capa 37	Caliza	LIC24-37F	50 cm	Tonalidad gris intermedio con algo de violeta, esparitica con bioclastos de rudistasde tipo radiolitidos de tamaño pequeño y toucaceas.
Capa 38	Caliza	LIC24-38F	1.45 m	Tonalidad gris oscuro a intermedio con algo de color rojizo, caliza brechoide microesparitica con bioclastos.
Capa 39	Caliza	LIC24-39F	55 cm	Tonalidad gris oscuro, caliza brechoide.
Capa 40	Caliza	LIC24-40F	60 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos.
Capa 41	Caliza	LIC24-41F	53 cm	Tonalidad gris intermedio, con bioclastos fragmentados de radiolitidos o con aspecto de caprinidos en las paredes.
Capa 42	Caliza	LIC24-42F	20 cm	Tonalidad gris intermedio, con bioclastos fragmentados de radiolitidos.
Capa 43	Caliza limo-arenosa	LIC24-43F	40 cm	Contiene numerosos nodulos con pequeños bioclastos, este paquete se observa como una franja interestratificada, pero sin estructura.
Capa 44	Caliza	LIC24-44F	68 cm	Tonalidad gris claro, esparitica gruesa similar a calcoarenita recristalizada, con bioclastos escasos de rudistas.
Capa 45	Caliza	LIC24-45F	15 cm	Tonalidad gris claro, esparitica gruesa, con bioclastos escasos de rudistas.
Capa 46	Caliza	LIC24-46F	34 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con fragmentos de rudistas con paredes similares a las de los caprinidos, pero de tamaño pequeño.
Capa 47	Caliza limo-arenosa	LIC24-47F	45 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 48	Caliza	LIC24-48F	30 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con poca precencia de bioclastos.
Capa 49	Caliza	LIC24-49F	20 cm	Tonalidad gris claro, esparitica contiene toucaceas abundantes de concha negra y delgada.
Capa 50	Caliza	LIC24-50F	27 cm	Tonalidad gris intermedio con algo de color rojizo a marron, con bioclastos escasos de rudistas.
Capa 51	Caliza	LIC24-51F	20 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, esparitica con bioclastos escasos y toucaceas pequeñas.
Capa 52	Caliza	LIC24-52F	35 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con bioclastos de rudistas aislados.
Capa 53	Caliza limo-arenosa	LIC24-53F	1.60 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 54	Caliza	LIC24-54F	85 cm	Tonalidad gris claro, micritica a microesparitica con laminacion y pequeñas turritelas.
Capa 55	Caliza limo-arenosa	LIC24-55F	1.80 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 56	Caliza	LIC24-56F	20 cm	Tonalidad gris claro, micritica a microesparitica, sin fosiles y con una divicion en dos capas de 10 cm cada una.
Capa 57	Caliza limo-arenosa	LIC24-57F	1.35 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion, pero con rodados de caliza.
Capa 58	Caliza	LIC24-58F	1.05 m	Tonalidad gris intermedio a gris con algunas tonalidades rojizas, esparitica a microesparitica, sin fosiles.
Capa 59	Caliza	LIC24-59F	60 cm	bioclastos de toucaceas, radiolitidos, requinidos e hippuritidos.
Capa 60	Caliza	LIC24-60F	15 cm	Tonalidad gris intermedio con fosiles de toucaceas y rudistas de concha delgada.
Capa 61	Caliza limo-arenosa	LIC24-61F	30 cm	Horizonte margoso de roca caliza con tonalidad clara desgranable, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 62	Caliza	LIC24-62F	60 cm	Tonalidad gris intermedio, se observan numerosos fragmentos de rudistas, principalmente radiolitidos
Capa 63	Caliza	LIC24-63F	25 cm	Tonalidad gris intermedio, con numerosos fragmentos de rudistas, con cortes en zigzag de caprinidos o radiolitidos.
Capa 64	Caliza limo-arenosa	LIC24-64F	40 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 65	Caliza	LIC24-65F	55 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, bioclastos de radiolitidos de 1 a 1.5 cm y fragmentos de toucaceas de concha delgada.
Capa 66	Caliza limo-arenosa	LIC24-66F	1.50 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 67	Caliza	LIC24-67F	65 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica de grano grueso, con escasos bioclastos de organismos no identificados, posiblemente rudistas.
Capa 68	Caliza limo-arenosa	LIC24-68F	30 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 69	Caliza	LIC24-69F	35 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con fosiles de toucaceas.
Capa 70	Caliza limo-arenosa	LIC24-70F	30 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con fosiles de toucaceas.
Capa 71	Caliza limo-arenosa	LIC24-71F	20 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con escasos fosiles sin identificar.
Capa 72	Caliza	LIC24-72F	65 cm	Tonalidad gris intermediocon toques rojizos a ocres, microesparitica con bioclastos de radiolitidos y rudistas.
Capa 73	Caliza limo-arenosa	LIC24-73F	1.40 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 74	Caliza	LIC24-74F	40 cm	Tonalidad gris intermedio con fosiles de toucaceas.
Capa 75	Caliza limo-arenosa	LIC24-75F	30 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 76	Caliza	LIC24-76F	40 cm	Tonalidad gris claro a gris intermedio, micritica a microesparitica con bioclastos de radiolitidos.
Capa 77	Caliza limo-arenosa	LIC24-77F	30 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 78	Caliza	LIC24-78F	40 cm	Tonalidad gris claro con fosiles de radiolitidos.
Capa 79	Caliza	LIC24-79F	40 cm	Tonalidad gris claro,esparitica con fosiles de radiolitidos.
Capa 80	Caliza limo-arenosa	LIC24-80F	40 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 81	Caliza	LIC24-81F	40 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con fosiles de radiolitidos
Capa 82	Caliza	LIC24-82F	60 cm	Tonalidad gris claro a gris intermedio, esparitica con bioclastos de radiolitidos.
Capa 83	Caliza limo-arenosa	LIC24-83F	30 cm	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 84	Caliza	LIC24-84F	20 cm	Tonalidad gris claroesparitica, sin fosiles.
Capa 85	Caliza limo-arenosa	LIC24-85F	1.60 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 86	Caliza	LIC24-86F	40 cm	Tonalidad gris oscuro, microesparitica, el banco de roca se divide en dos partes por una franja de pedernal negro, raro en la secuencia.
Capa 87	Caliza limo-arenosa	LIC24-87F	1.50 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 88	Caliza	LIC24-88F	50 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con fosiles completos de radiolitidos, hasta de 3 cm de diametro en corte trasversal.
Capa 89	Caliza limo-arenosa	LIC24-89F	1.50 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 90	Caliza limo-arenosa	LIC24-90F	1.50 m	Horizonte margoso, sin fosiles o bioturbacion.
Capa 91	Caliza	LIC24-91F	40 cm	Microesparitica de tonalidad gris claro sin fosiles.

Tabla 4-. Características del trabajo de campo, capa por capa de la columna El Fénix.1

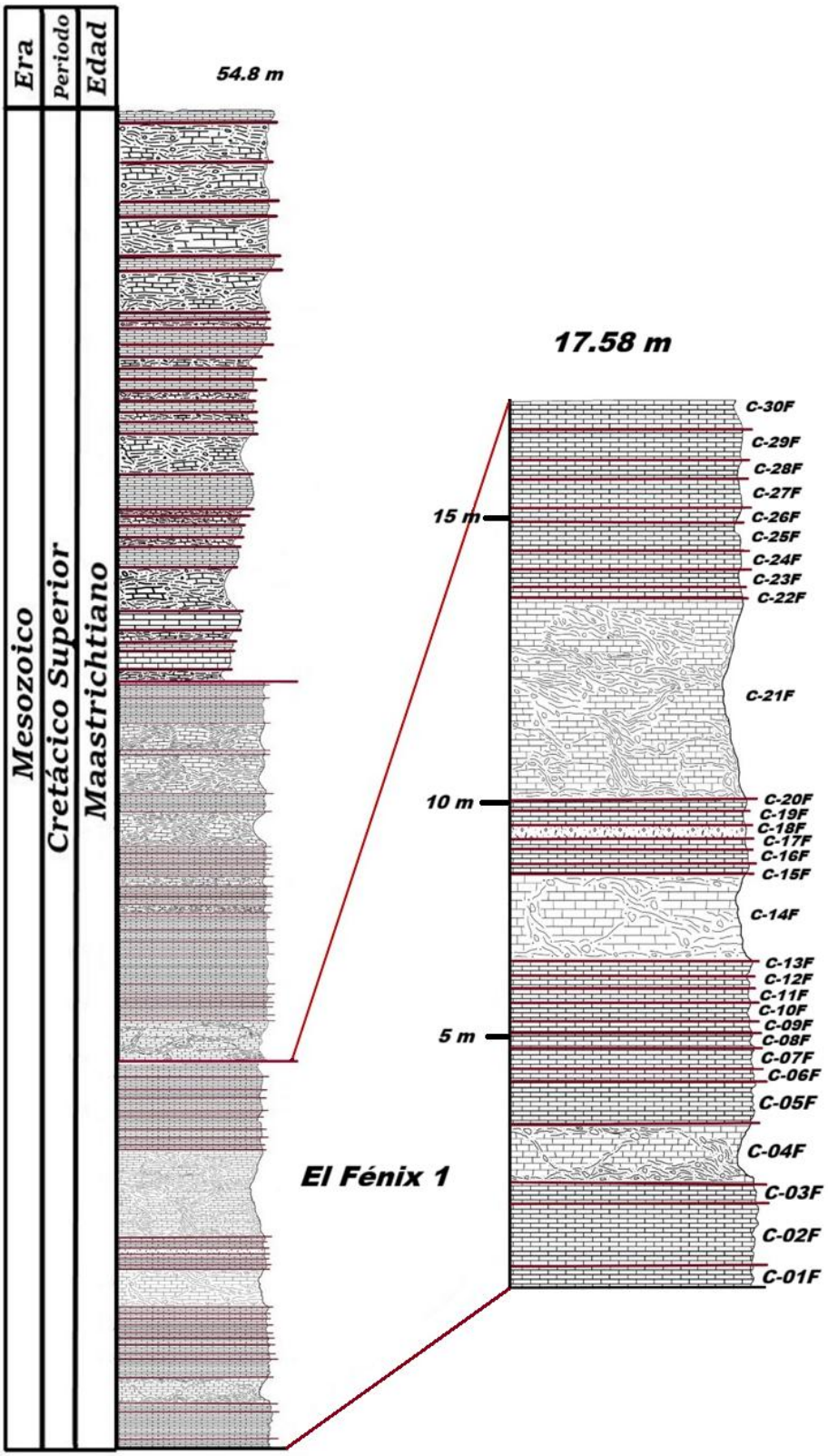


Figura 21-. Columna Fénix 1, porción base de la columna estratigráfica El Fénix.

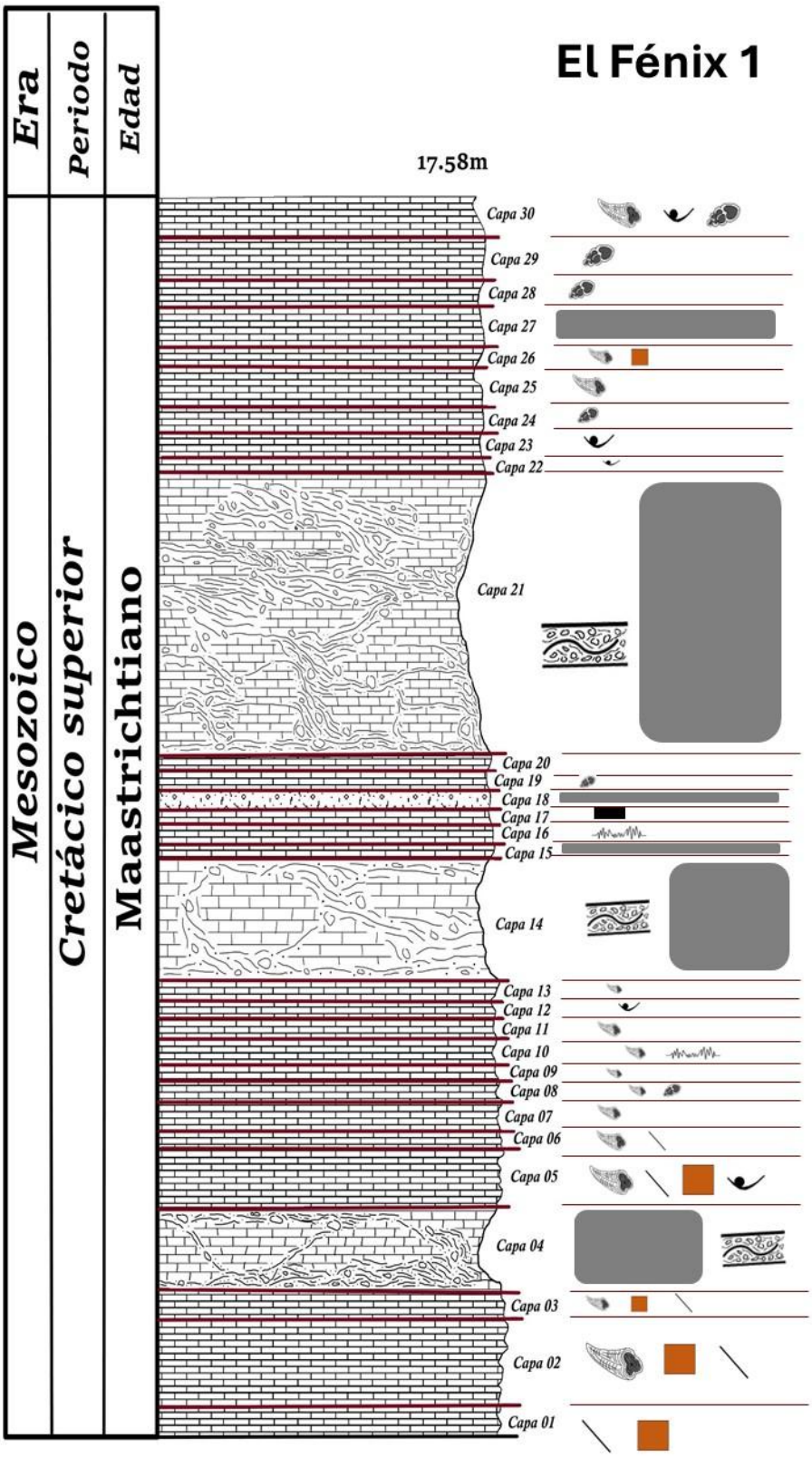


Figura 22-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Fénix 1.

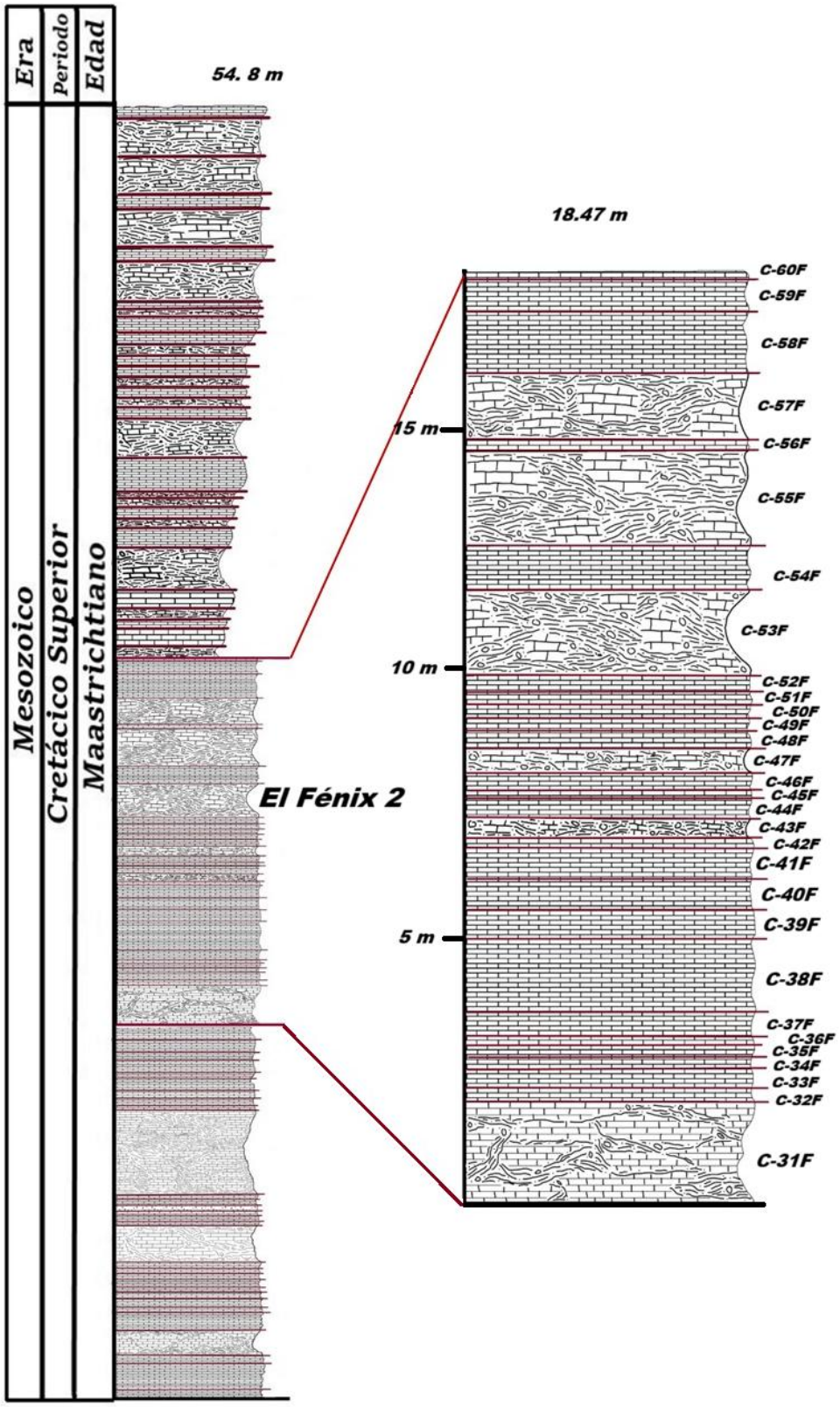


Figura 23-. Columna Fénix 2, porción media de la columna estratigráfica El Fénix,

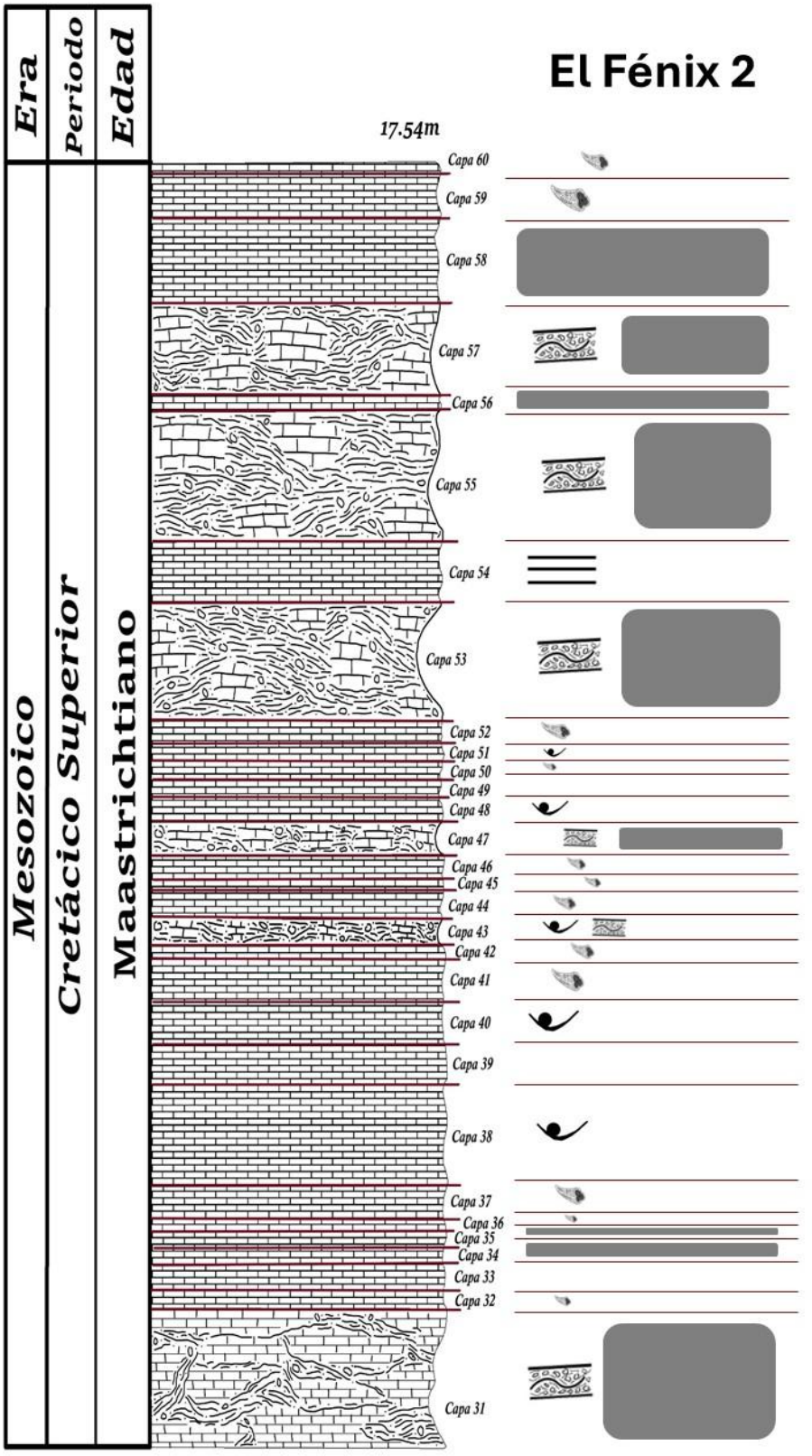


Figura 24-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Fénix 2.

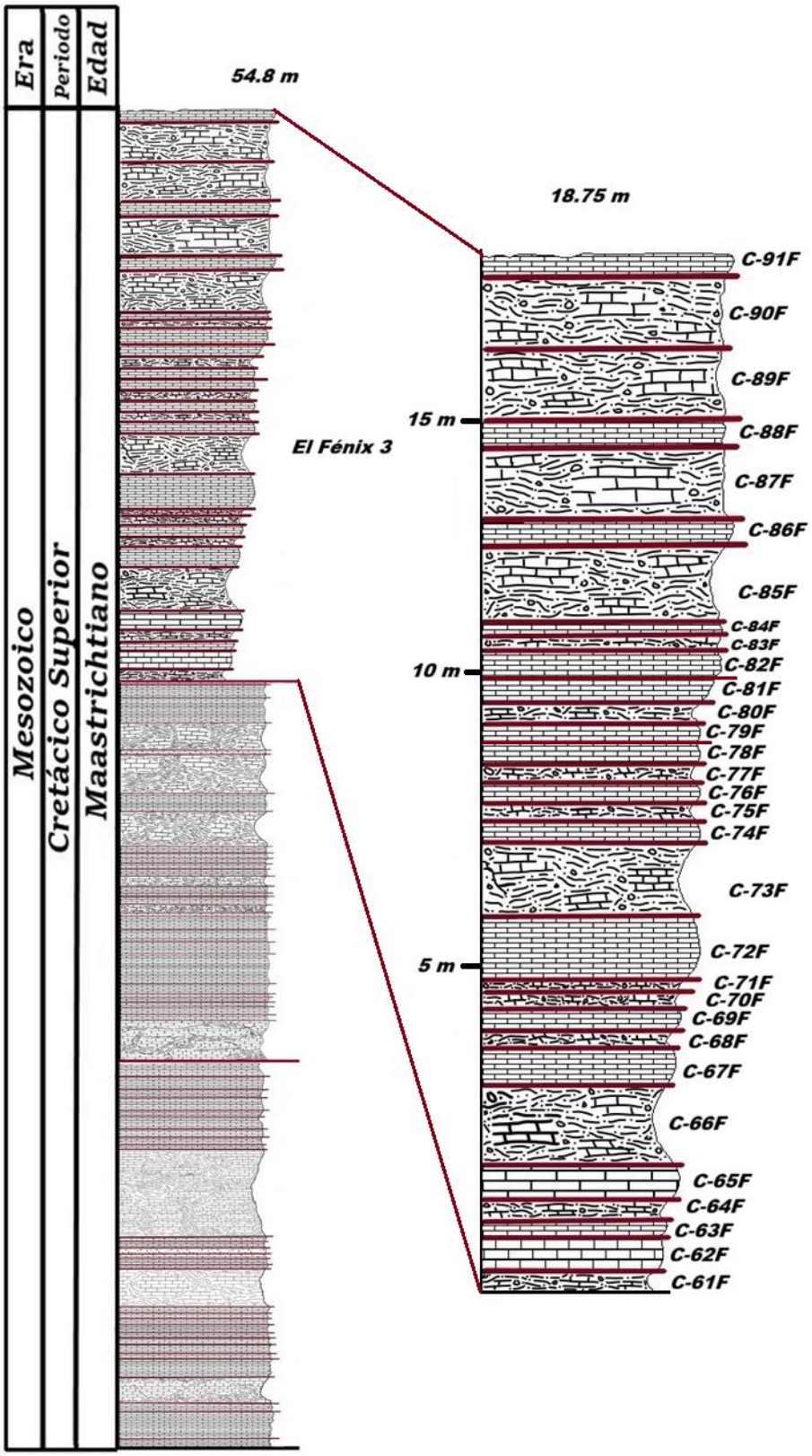


Figura 25-. Columna Fénix 3, porción de la cima de la columna estratigráfica El Fénix,

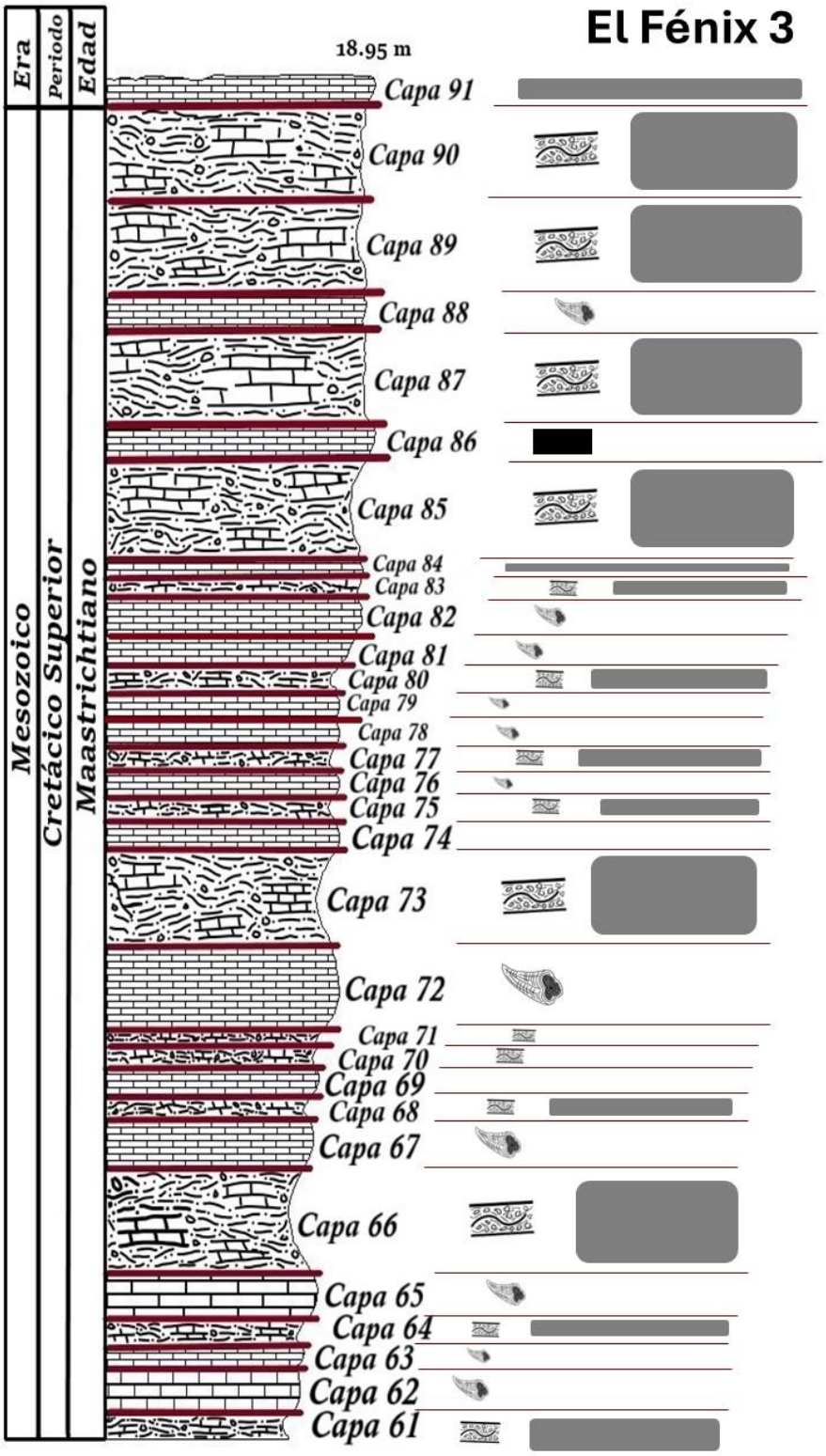


Figura 26-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Fénix 3.

Columna Estratigráfica 2 El Mulero

La segunda columna fue nombrada “El Mulero”, por el llano más cercano tomado como punto de referencia. Dicha columna cuanta con 54 capas medidas y fue dividida en tres partes. En este caso no se cuenta con la presencia de ningún horizonte de material blando, se documentaron 11 capas de caliza limo-arenosa y 43 de roca caliza dando un espesor de la secuencia completa de 30.92 metros.

En campo se observa una zona con capas mayormente cubiertas o poco visibles en cuanto a la secuencia de capas, es decir, los estratos se distinguen fácilmente, como se muestra en la figura 32, pero es recurrente buscar entre la vegetación la continuidad de las capas. En cuanto a otras observaciones destacables, se presentan los tramos cubiertos por caliza limo-arenosa, como se muestra en la figura 31,

Las características vistas en campo y en muestra de mano en general son bioclástos de rudistas, gasterópodos y algunos otros fósiles y bioclástos de organismos no identificados, se documenta algo de alteración, en la capa 03M para la columna el mulero 1, estilolitas en la capa 30M y presencia de pedernal en la capa 34M en la columna el mulero 2, en cuanto a la cima de la columna, el mulero 3 presenta vetas rellenas de calcita en la capa 40M.

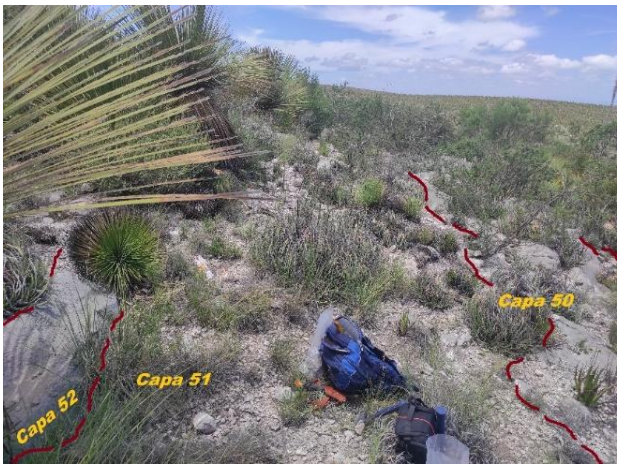


Figura 27-. Fotografía en campo de la secuencia de capas y un tramo cubierto, 50M, 51M Y 52M pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio.

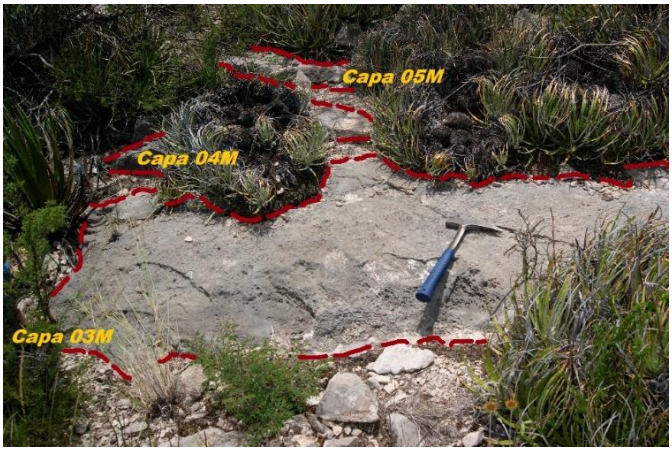


Figura 28-. Fotografía en campo de la secuencia de capas 03M, 04M Y 05M pertenecientes a la Formación El Abra, en la zona de estudio.

No. Capa	Roca Material	Clave de muestra	Espesor	Caracteristicas
Capa 01	Caliza	LIC24-01M	35 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica, con bioclastos pequeños de rudistas radiolitidos e hippuritidos.
Capa 02	Caliza	LIC24-02M	90 m	Tonalidad gris intermedio a claro, esparitica, con bioclastos pequeños de radiolitidos y raquinidos.
Capa 03	Caliza limo-arenosa	LIC24-03M	60 cm	Tonalidad gris claro a violeta o rojiza, caliza arcillosa con intemperismo, sin bioturbacion.
Capa 04	Caliza	LIC24-04M	55 m	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparita, bioclastos escasos, subdivicion en dos capas.
Capa 05	Caliza	LIC24-05M	60 cm	Tonalidad gris claro, microesparita, pequeños bioclastos escasos, subdivicion en dos capas.
Capa 06	Caliza limo-arenosa	LIC24-06M	45 cm	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 07	Caliza	LIC24-07M	45 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica, con bioclastos pequeños de rudistas radiolitidos e hippuritidos.
Capa 08	Caliza	LIC24-08M	35 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparitica con abundantes bioclastos de radiolitidos.
Capa 09	Caliza	LIC24-09M	27 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con bioclastos de radiolitidos y toucaceas de concha delgada.
Capa 10	Caliza limo-arenosa	LIC24-10M	1 m	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 11	Caliza	LIC24-11M	1 m	Tonalidad gris intermedio, microespariticacon bioclastos aislados de radiolitidos y toucaceas.
Capa 12	Caliza	LIC24-12M	18 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparitica sin bioclastos o fosiles.
Capa 13	Caliza	LIC24-13M	55 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclastos de radiolitidos aislados.
Capa 14	Caliza	LIC24-14M	30 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclastos de radiolitidos.
Capa 15	Caliza	LIC24-15M	30 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclastos de radiolitidos que intemperisan en tonos ocres.
Capa 16	Caliza	LIC24-16M	45 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclastos de rafdiolitidos.
Capa 17	Caliza	LIC24-17M	30 cm	Tonalidad gris claro con un tenue tinte rosado, con escasos bioclastos.
Capa 18	Caliza	LIC24-18M	32 cm	Tonalidad gris claro
Capa 19	Caliza	LIC24-19M	50 cm	Tonalidad gris claro a intermedio con bioclastos abundantes, pero pequeños de tonalidad ocre.
Capa 20	Caliza	LIC24-20M	25 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con bioclastos de radiolitidos y toucaceas de concha delgada.
Capa 21	Caliza	LIC24-21M	45 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclastos de radiolitidos y algunas toucaceas.
Capa 22	Caliza limo-arenosa	LIC24-22M	60 cm	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 23	Caliza	LIC24-23M	30 cm	Tonalidad gris claro. Sin precencia de bioclastos o fosiles.
Capa 24	Caliza	LIC24-24M	45 cm	Tonalidad gris con un ligero toque de rosado, esparitica a microesparitica sin bioclastos.
Capa 25	Caliza	LIC24-25M	55 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica.
Capa 26	Caliza	LIC24-26M	52 cm	Tonalidad gris claro, micritica con bioclastos de radiolitidos y toucaceas fragmentados.
Capa 27	Caliza	LIC24-27M	35 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con escasos bioclastos.
Capa 28	Caliza	LIC24-28M	30 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con bioclastos de radiolitidos fragmentados.
Capa 29	Caliza	LIC24-29M	35 cm	Tonalidad gris claro con algo de tintes rosados, microesparitica con bioclastos de radiolitidos.
Capa 30	Caliza	LIC24-30M	30 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, esparitica con bioclastos pequeños y el banco se divide por estilolitas.
Capa 31	Caliza	LIC24-31M	25 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con toucaceas y bioclastos de radiolitidos.
Capa 32	Caliza	LIC24-32M	60 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con bioclastos de radiolitidos.
Capa 33	Caliza limo-arenosa	LIC24-33M	1.60 m	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 34	Caliza	LIC24-34M	2 m	Tonalidad gris intermedio a claro, sin bioclastos y con franjas o nodulos alargados de pedernal.
Capa 35	Caliza limo-arenosa	LIC24-35M	2 m	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 36	Caliza	LIC24-36M	40 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparita con bioclastos abundantes de radiolitidos.
Capa 37	Caliza	LIC24-37M	50 cm	Tonalidad gris intermedio con bioclastos.
Capa 38	Caliza	LIC24-38M	25 cm	Tonalidad gris intermedio, microesparitica con bioclastos escasos.
Capa 39	Caliza	LIC24-39M	35 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con bioclastos fragmentados.
Capa 40	Caliza	LIC24-40M	30 cm	Tonalidad gris claro, esparitica sin bioclastos y con vetillas de calcita compacta.
Capa 41	Caliza limo-arenosa	LIC24-41M	60 cm	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 42	Caliza	LIC24-42M	55 cm	Tonalidad gris, escasos bioclastos de radiolitidos de buen tamaño y casi completos.
Capa 43	Caliza	LIC24-43M	45 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparitica con bioclastos de toucaceas.
Capa 44	Caliza	LIC24-44M	40 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos escasos.
Capa 45	Caliza limo-arenosa	LIC24-45M	40 cm	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 46	Caliza	LIC24-46M	50 cm	Tonalidad intermedio, microesparitica con fosiles de toucaceas y radiolitidos.
Capa 47	Caliza limo-arenosa	LIC24-47M	40 cm	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 48	Caliza	LIC24-48M	80 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con bioclastos de radiolitidos, toucaceas y posibles hippuritidos.
Capa 49	Caliza limo-arenosa	LIC24-49M	50 cm	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 50	Caliza	LIC24-50M	50 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica, con fosiles de radiolitidos, toucaceas e hippuritidos.
Capa 51	Caliza limo-arenosa	LIC24-51M	1 m	Tonalidad gris a rojiza.
Capa 52	Caliza	LIC24-52M	88 cm	Tonalidad gris claro, banco separado en tres partes con bioclastos de rudistas y toucaceas.
Capa 53	Caliza	LIC24-53M	80 cm	Tonalidad gris, con bioclastos de rudistas y toucaceas
Capa 54	Caliza	LIC24-54M	1.5 m	Tonaidad gris claro a rojizo, caliza margosa.

Tabla 5-. Características del trabajo de campo, capa por capa de la columna El Mulero.

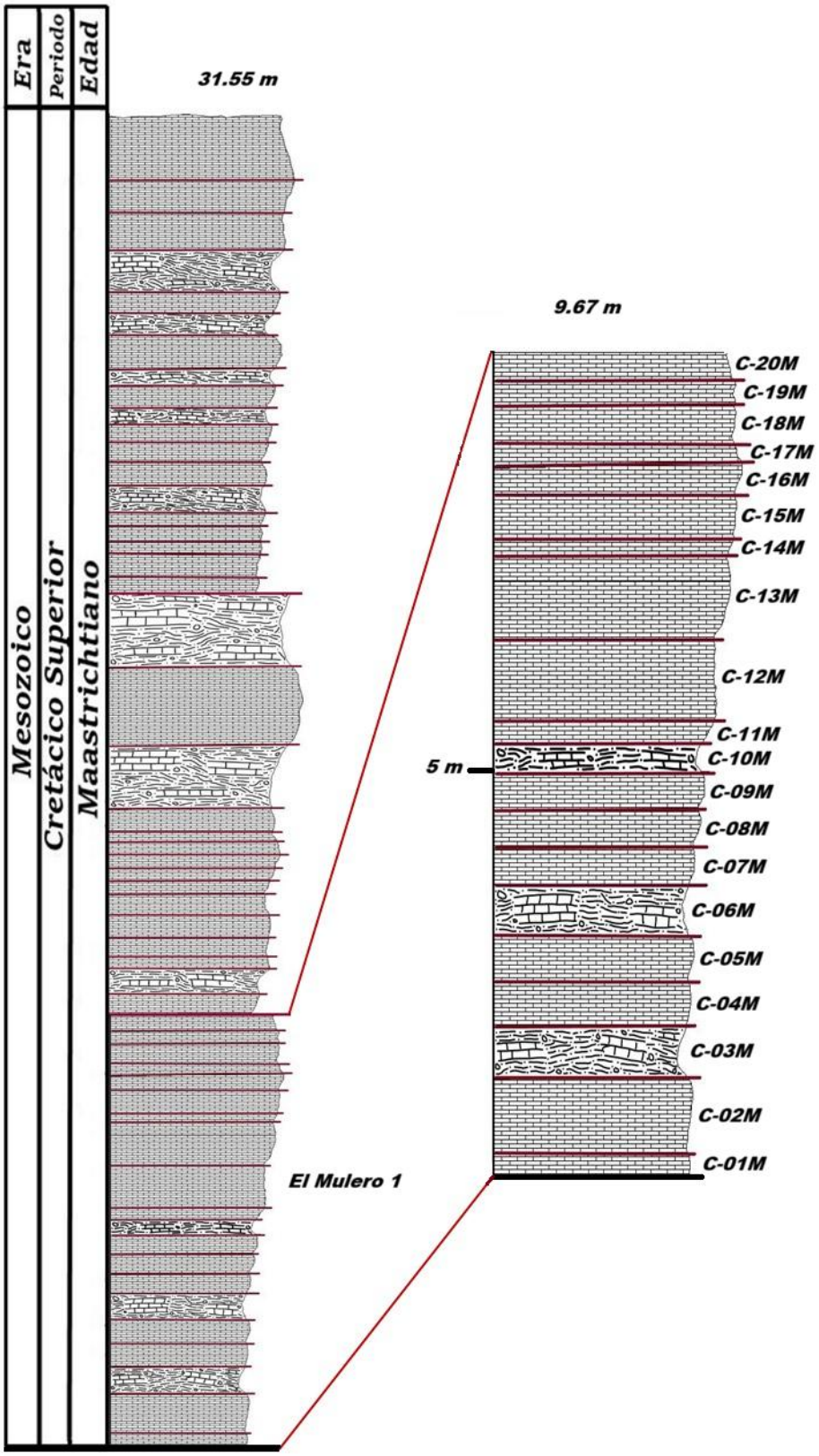


Figura 29-. Columna Mulero 1, porción base de la columna estratigráfica El Mulero,

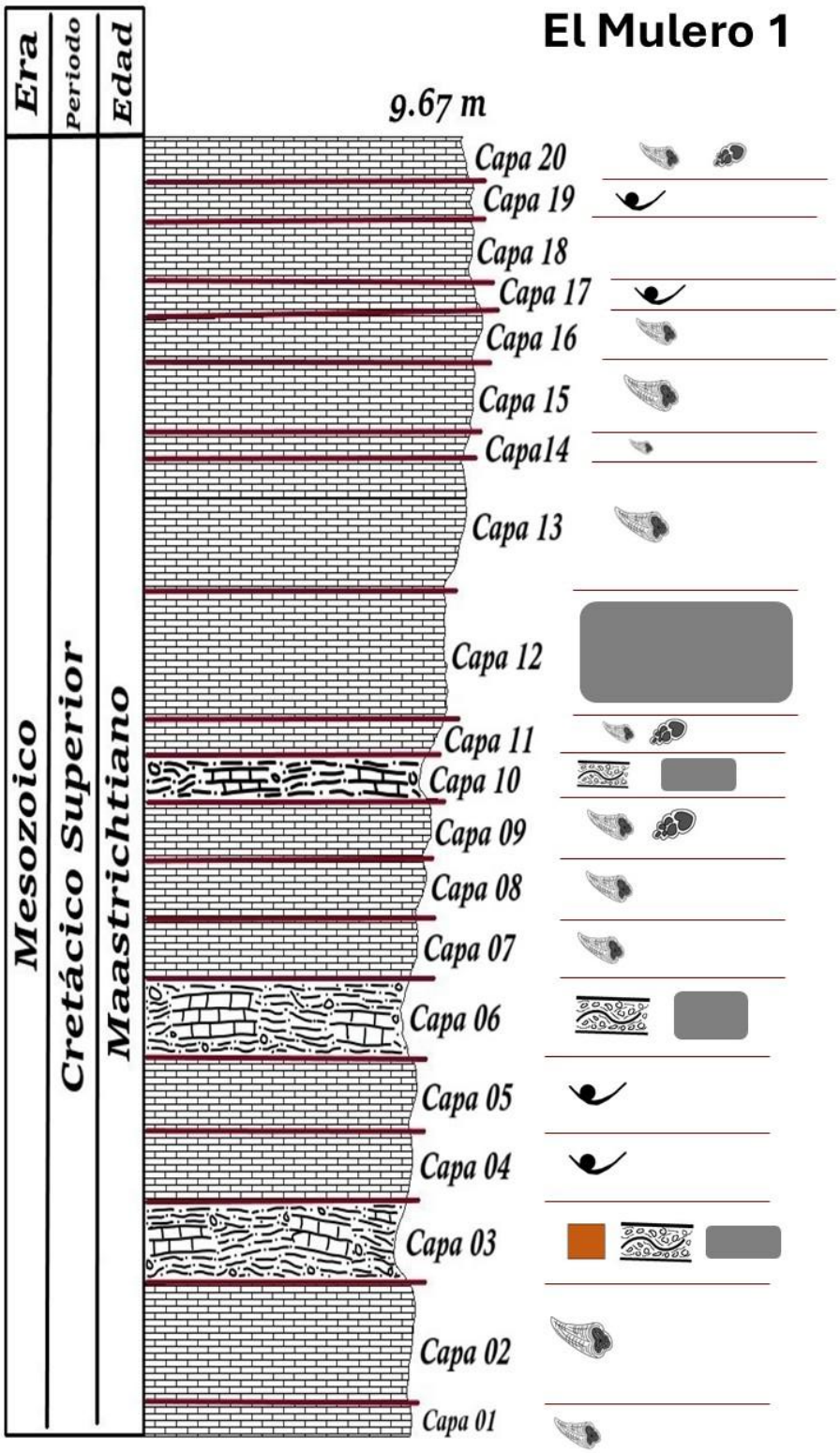


Figura 30-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Mulero 1.

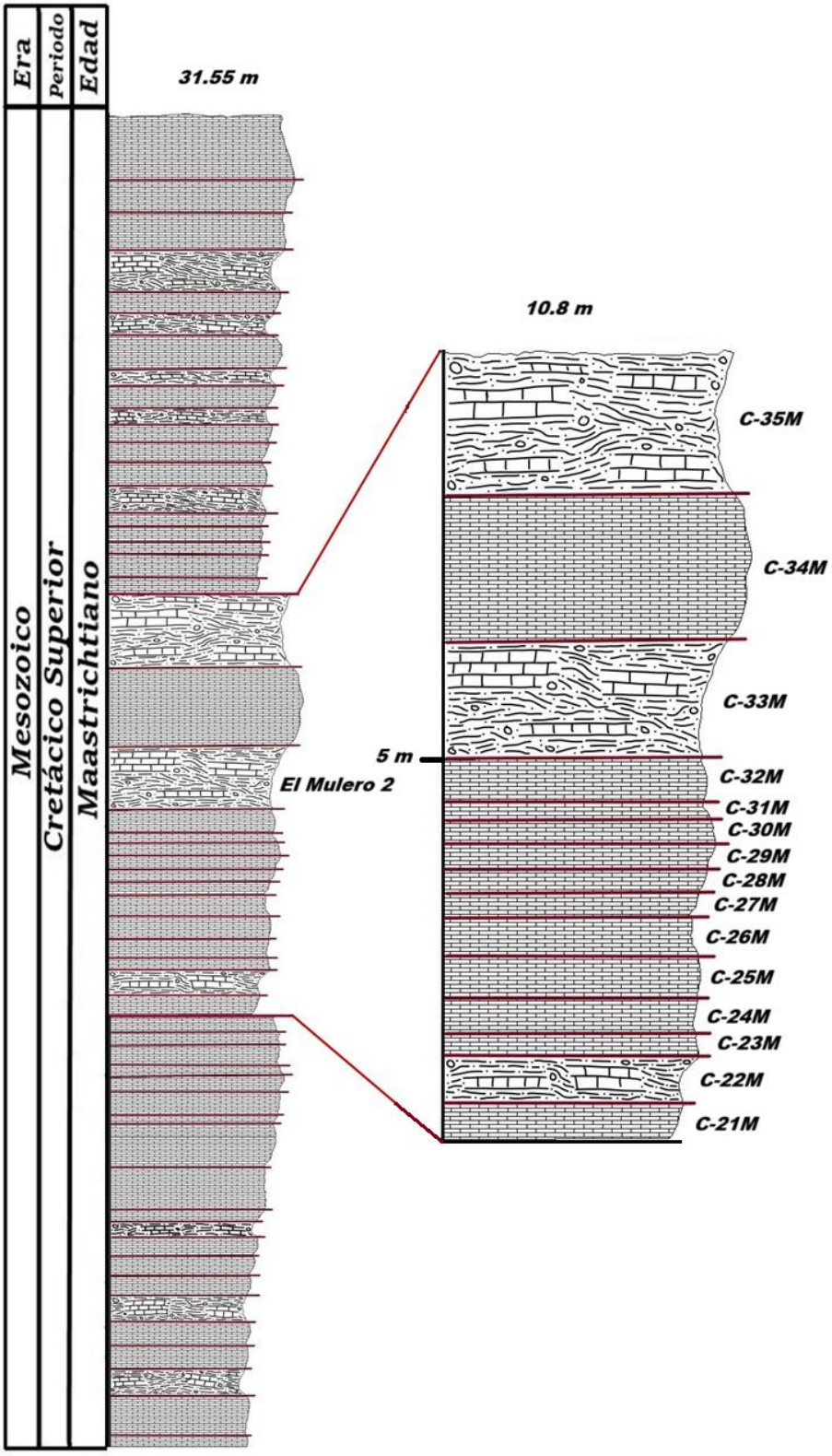


Figura 31-. Columna Mulero 2, porción media de la columna estratigráfica El Mulero,

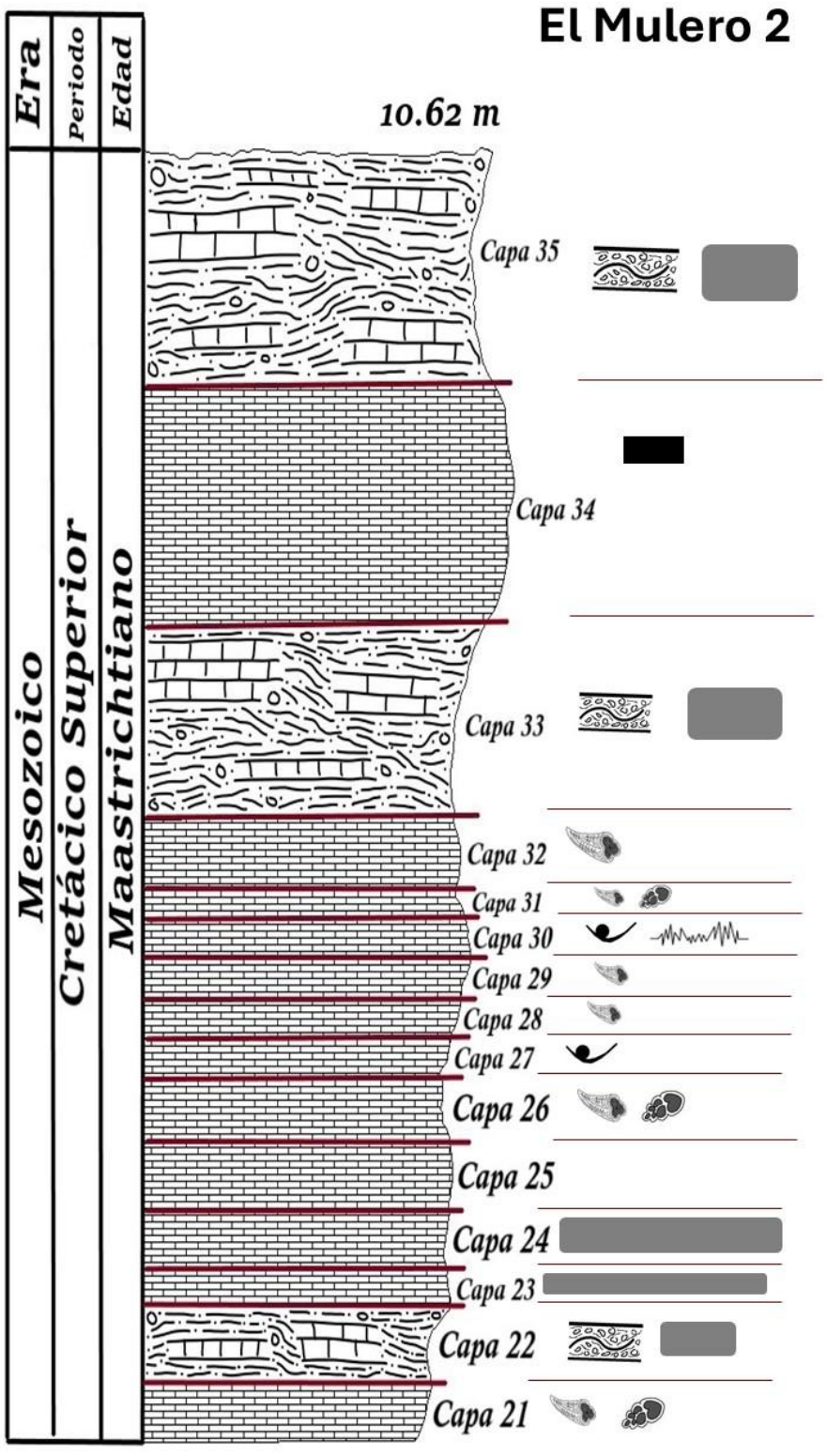


Figura 32-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Mulero 2.

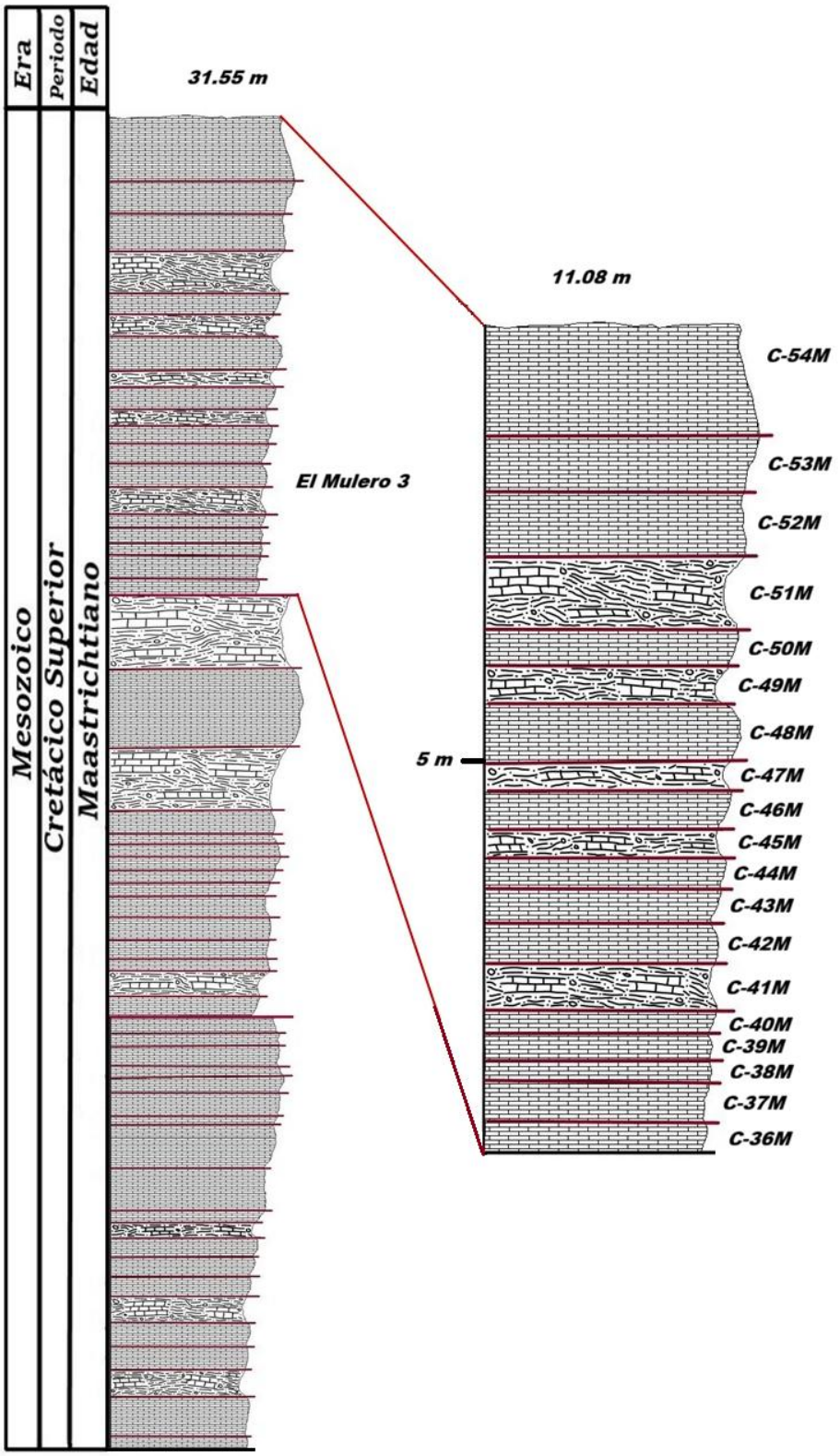


Figura 33-. Columna Mulero 3, porción de la cima en la columna estratigráfica El Mulero,

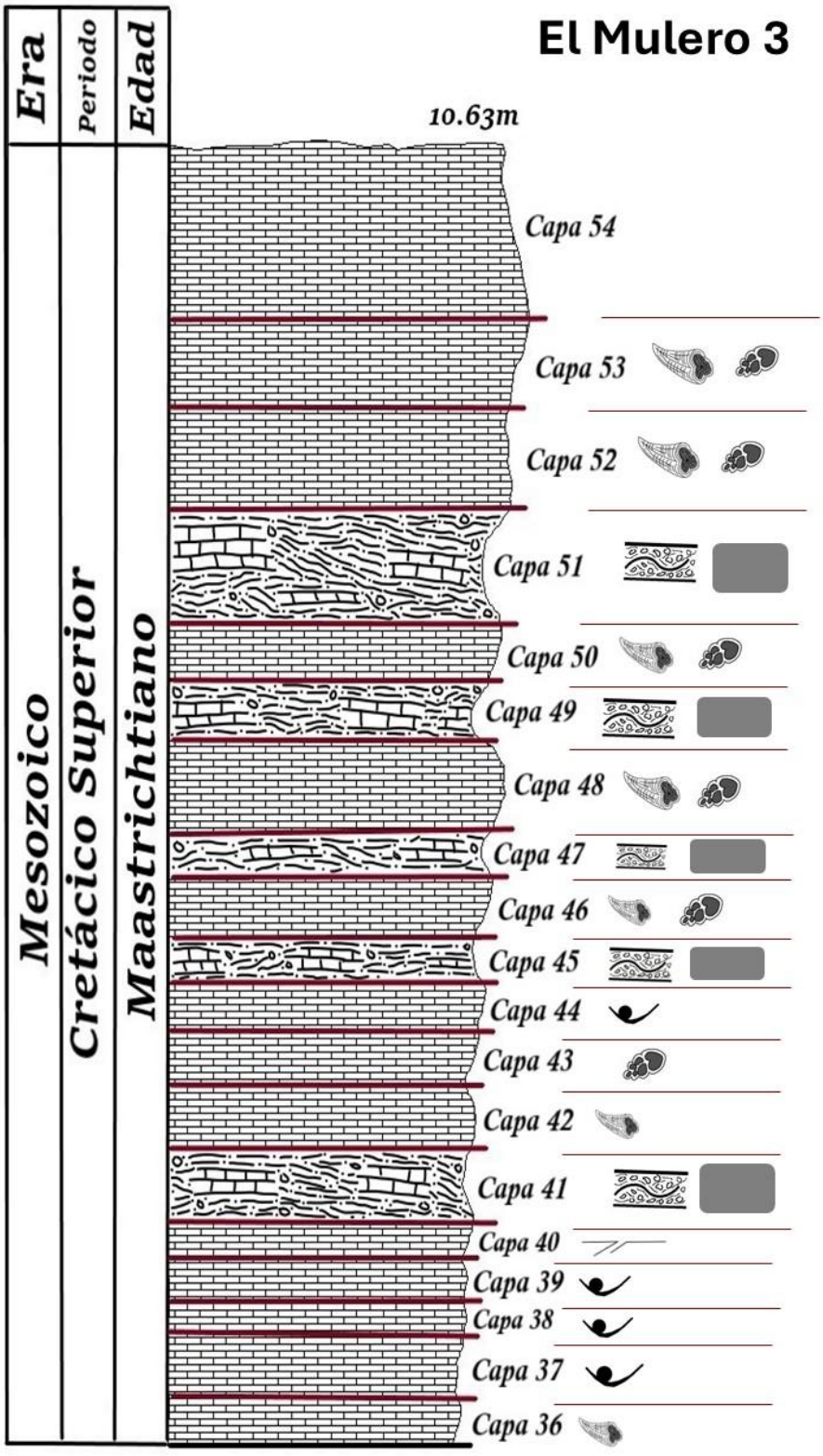


Figura 34-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Mulero 3.

Columna Estratigráfica 3 El Pedernal

La tercera columna lleva por nombre “El Pedernal”, por su ubicación al lado del arroyo del mismo nombre, esta columna presenta 67 capas medidas, de las cuales 41 son de roca caliza, 10 de caliza arcillosa, seis de caliza limo-arenosa y solo una de material blando o lo que se considera un horizonte de lo que se considera un sascab, por tonalidad, consolidación, tamaño de grano, aunque esta capa hace una transición entre la caliza arcillosa y dicho horizonte. En estos estratos destaca la presencia de bioturbación de manera abundante y en casi todos los estratos de la secuencia. El espesor total de estas capas es de 30.97 metros, la columna se divide en tres partes.

Las características en campo son bioclástos de gasterópodos, rudistas y algunos organismos no identificados, fractura, bioturbación, alteraciones como recristalización u oxidación, laminación en algunas calizas. La capa 11P presenta estilolitas, la capa 02P vetillas rellenas de calcita y aparece pedernal en las capas 40P, 42P y 59P.



La Figura 35-. Base de la columna El Pedernal, se presenta una zona de transición entre calizas arcillosas a horizonte blando.

No. Capa	Roca Material	Clave de muestra	Espesor	Caracteristicas
Capa 01	Caliza Arcillosa	LIC24-01P	05 cm	Tonalidad crema a pardo dando la impresión de una tonalidad verde con bioturbación, superficie intemperizada.
Capa 02	Caliza Arcillosa	LIC24-02P	07 cm	Tonalidad gris claro a pardo, micritica con poca bioturbación a la cima y vetillas de calcita.
Capa 03	Caliza arcillosa	LIC24-03P	11 cm	Tonalidad gris claro, con bioturbación a la cima.
Capa 04	Horizonte Blando	LIC24-04P	40 m	Tonalidad blanco a crema,
Capa 05	Caliza	LIC24-05P	20 cm	Tonalidad gris, con bioturbación, calcita y poca oxidación
Capa 06	Caliza Arcillosa	LIC24-06P	04 cm	Tonalidad gris claro a una tonalidad amarillenta, sin bioturbacion.
Capa 07	Caliza	LIC24-07P	18 cm	Tonalidad gris con oxidación, poca bioturbación y poco fracturada.
Capa 08	Caliza Arcillosa	LIC24-08P	06 cm	Tonalidad gris claro, sin bioturbacion.
Capa 09	Caliza	LIC24-09P	15 cm	Tonalidad gris con poca bioturbación y fracturada.
Capa 10	Caliza Arcillosa	LIC24-10P	19 cm	Tonalidad gris claro, sin bioturbacion.
Capa 11	Caliza	LIC24-11P	20 cm	Tonalidad gris, con fragmentos fósiles, fracturada y estilolitas.
Capa 12	Caliza limo-arenosa	LIC24-12P	1 m	Cubierta de coluvión.
Capa 13	Caliza	LIC24-13P	53 cm	Tonalidad gris, con fractura y escasos fragmentos fósiles.
Capa 14	Caliza limo-arenosa	LIC24-14P	1.50 m	Cubierta de coluvión.
Capa 15	Caliza	LIC24-15P	37 cm	Tonalidad gris, con fractura y diminutos bioclástos dispersos.
Capa 16	Caliza limo-arenosa	LIC24-16P	50 cm	Cubierta de coluvión.
Capa 17	Caliza Arcillosa	LIC24-17P	15 cm	Tonalidad gris intermedio a claro, con una tonalidad amarilla por intemperismo y de grano fino.
Capa 18	Caliza limo-arenosa	LIC24-18P	25 cm	Cubierta de coluvión.
Capa 19	Caliza	LIC24-19P	22 cm	Tonaidad gris a tonalidad rojiza
Capa 20	Caliza	LIC24-20P	18 cm	Tonalidad gris a tonalidad amarillenta, con presencia de bioturbación.
Capa 21	Caliza limo-arenosa	LIC24-21P	60 cm	Cubierta de coluvión.
Capa 22	Caliza	LIC24-22P	27 cm	Tonalidad gris claro, con poca fractura y muy alterada en algunos puntos, con bioclástos.
Capa 23	Caliza	LIC24-23P	45 cm	Tonalidad gris claro, poca fractura y bioclástos pequeños.
Capa 24	Caliza	LIC24-24P	50 cm	Tonalidad gris oscuro a intermedio, esparitica con bioclástos (rudistas) pequeños ligeramente orientados de forma paralela a la estratificación.
Capa 25	Caliza	LIC24-25P	45 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica, con bioclástos diminutos aislados con aparentes intraclastos de caliza micritica ligeramente más obscura, presenta poca fractura y oxidación.
Capa 26	Caliza	LIC24-26P	30 cm	Tonalidad gris claro, micrítica con alteración y bioclástos aislados de rudistas diminutos.
Capa 27	Caliza	LIC24-27P	40 cm	Tonalidad gris claro,esparitica con muchos bioclástos rudistas (radiolitidos y toucacias) a la cima.
Capa 28	Caliza	LIC24-28P	60 cm	Tonalidad gris oscuro, esparitica dolomitizada, con alteración en las fracturas, esta capa se aprecia de tonalidad clara a la parte superior y oscura a la inferior, con fósiles de rudistas.
Capa 29	Caliza	LIC24-29P	42 cm	Tonalidad gris claro, esparitica con fracturas rellenas y bioturbación y bioclástos.
Capa 30	Caliza	LIC24-30P	24 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con poca fractura, presenta calcita y bioturbación, en algunas zonas se aprecia esparita a manera de manchones en tonalidad blanca.
Capa 31	Caliza	LIC24-31P	23 cm	Tonalidad gris intermedio, esparitica con bioclástos a la cima.
Capa 32	Caliza	LIC24-32P	30 cm	Tonalidad gris claro esparitica con bioclástos y fractura.
Capa 33	Caliza	LIC24-33P	20 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con pocos bioclástos y fractura.
Capa 34	Caliza	LIC24-34P	25 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, esparitica con bioclástos, poca fractura y algo de alteración.
Capa 35	Caliza limo-arenosa	LIC24-35P	2 m	Cubierta de coluvión, caídos con Actionelas.
Capa 36	Caliza	LIC24-36P	25 cm	Tonalidad gris claro con tonalidad amarilla, microesparitica, con alteración y fósiles de Actionelas.
Capa 37	Caliza	LIC24-37P	30 cm	Tonalidad gris claro a tonalidad amarillenta, microesparitica recristalizada y con numerosa presencia de fósiles de Actionelas de tamaño pequeño.
Capa 38	Caliza	LIC24-38P	45 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparitica, con fósiles de Radiolitidos pequeños y toucacias.
Capa 39	Caliza	LIC24-39P	85 cm	Banco de caliza esparitica, de color gris claro a intermedio, con recristalización de calcita, poca fractura y fósiles dispersos de Rudistas (radiolitidos, eoradiolitos de tamaño pequeño a medio).
Capa 40	Caliza	LIC24-40P	80 cm	Se trata de un banco de roca caliza de color gris claro a intermedio, es una roca dura en comparación al resto, microesparitica, hacia la parte interna presenta una franja a manera de lentes de sílice, parecido al pedernal, pero de tonalidad gris, dicha franja presenta un recubrimiento de tonalidad café seguramente de origen orgánico a manera de crecimiento, pero no identificable, sus dimensiones van de los 3 a 4 cm de espesor y no menos de 30 cm de largo, paralelos a la estratificación, presenta bioclástos.
Capa 41	Caliza	LIC24-41P	30 cm	Tonalidad gris intermedio a oscuro, esparitica con poca bioturbación y poco fracturada, con bioclástos aislados de rudistas.
Capa 42	Caliza	LIC24-42P	45 cm	Tonalidad gris claro, microesparitica con bioclástos de rudistas, contiene un crecimiento lenticular de sílice con cubierta de tonalidad café, similar al sílice que contiene la capa 40.
Capa 43	Caliza	LIC24-43P	15 cm	Tonalidad gris claro a intermedio, microesparita y bioclástos de radiolitidos.
Capa 44	Caliza	LIC24-44P	33 cm	Tonalidad gris claro, microesparita, en algunos puntos micritica, con bioclástos aislados de radiolitidos.
Capa 45	Caliza	LIC24-45P	65 cm	Color gris claro a intermedio, de aspecto nodular o brechado con recristalización de calcita, se aprecian numerosos bioclástos de radiolitidos y abundantes toucaceas de concha delgada, presenta fractura.
Capa 46	Caliza	LIC24-46P	05 cm	Color gris claro, con fractura y con bioclástos de Rudistas (radiolitidos) similar a capa 45.
Capa 47	Caliza limo-arenosa	LIC24-47P	1.20 m	Cubierta de coluvión.
Capa 48	Caliza	LIC24-48P	35 cm	Color gris claro a intermedio, esparitica, con bioclástos de Rudistas (Radiolitidos) de tamaño pequeño a medio.
Capa 49	Caliza	LIC24-49P	35 cm	Color gris intermedio,esparitica, con fractura. Presencia de fósiles radiolitidos principalmente y un ejemplar de tamaño grande de exogira.
Capa 50	Caliza limo-arenosa	LIC24-50P	1.25 m	Cubierta de coluvión.
Capa 51	Caliza	LIC24-51P	35 cm	Color gris claro a intermedio, microesparitica, con poca fractura y fósiles de tocaceas.
Capa 52	Caliza	LIC24-52P	28 cm	Color gris claro a intermedio, con poca fractura y radiolitidos a la parte superior de la capa.
Capa 53	Caliza limo-arenosa	LIC24-53P	1.50 m	Cubierta de coluvión.
Capa 54	Caliza	LIC24-54P	30 cm	Color gris claro, esparitica con bioclástos pequeños, con fósiles a la cima de radiolitidos.
Capa 55	Caliza	LIC24-55P	15 cm	Caliza arcillosa o limosa, color gris intermedio, con laminación a la base, compacta micrítica a microesparítica, con laminación, poca fractura.
Capa 56	Caliza limo-arenosa	LIC24-56P	1 m	Capa semicubierta de una caliza microesparitica color gris claro, subdividida en capas de 30 cm cada una aproximadamente, con presencia de toucaceas.
Capa 57	Caliza	LIC24-57P	40 cm	Color gris intermedio, esparitica, con bioclástos dispersos y aislados de radiolitidos y toucaceas.
Capa 58	Caliza limo-arenosa	LIC24-58P	80 cm	Cubierta de coluvión.
Capa 59	Caliza	LIC24-59P	30 cm	Color gris claro a intermedio, esparitica, con bioclástos aislados de radiolitidos y toucaceas aisladas, además de bandas lenticulares de pedernal paralelas a la estratificación.
Capa 60	Caliza limo-arenosa	LIC24-60P	1.20 m	se observan numerosas lajas de calizas arcillosas y aparentemente la roca en el subsuelo.
Capa 61	Caliza	LIC24-61P	22 cm	Color gris claro, aparente crecimiento orgánico, quizá de esponjas o algas, este crecimiento se presenta con sílice y oxidación. Debajo de este crecimiento se observan nerineas y turritellas.
Capa 62	Caliza limo-arenosa	LIC24-62P	1.30 m	Posibles calizas arcillosas de estratificación delgada en el subsuelo.
Capa 63	Caliza	LIC24-63P	35 cm	Tonalidad gris claro, laminación fina, a la parte superior se observa bioturbación difusa y algunas nerineas o posibles toucaceas.
Capa 64	Caliza limo-arenosa	LIC24-64P	1.05 m	Posiblemente se trata de una caliza arcillosa.
Capa 65	Caliza Arcillosa	LIC24-65P	20 cm	Caliza arcillosa laminada
Capa 66	Caliza Arcillosa	LIC24-66P	08 cm	Caliza arcillosa laminada
Capa 67	Caliza Arcillosa	LIC24-67P	20 cm	Caliza arcillosa con pequeños gasterópodos tipo nerineas pequeñas.

Tabla 6-. Características del trabajo de campo, capa por capa de la columna El Pedernal.

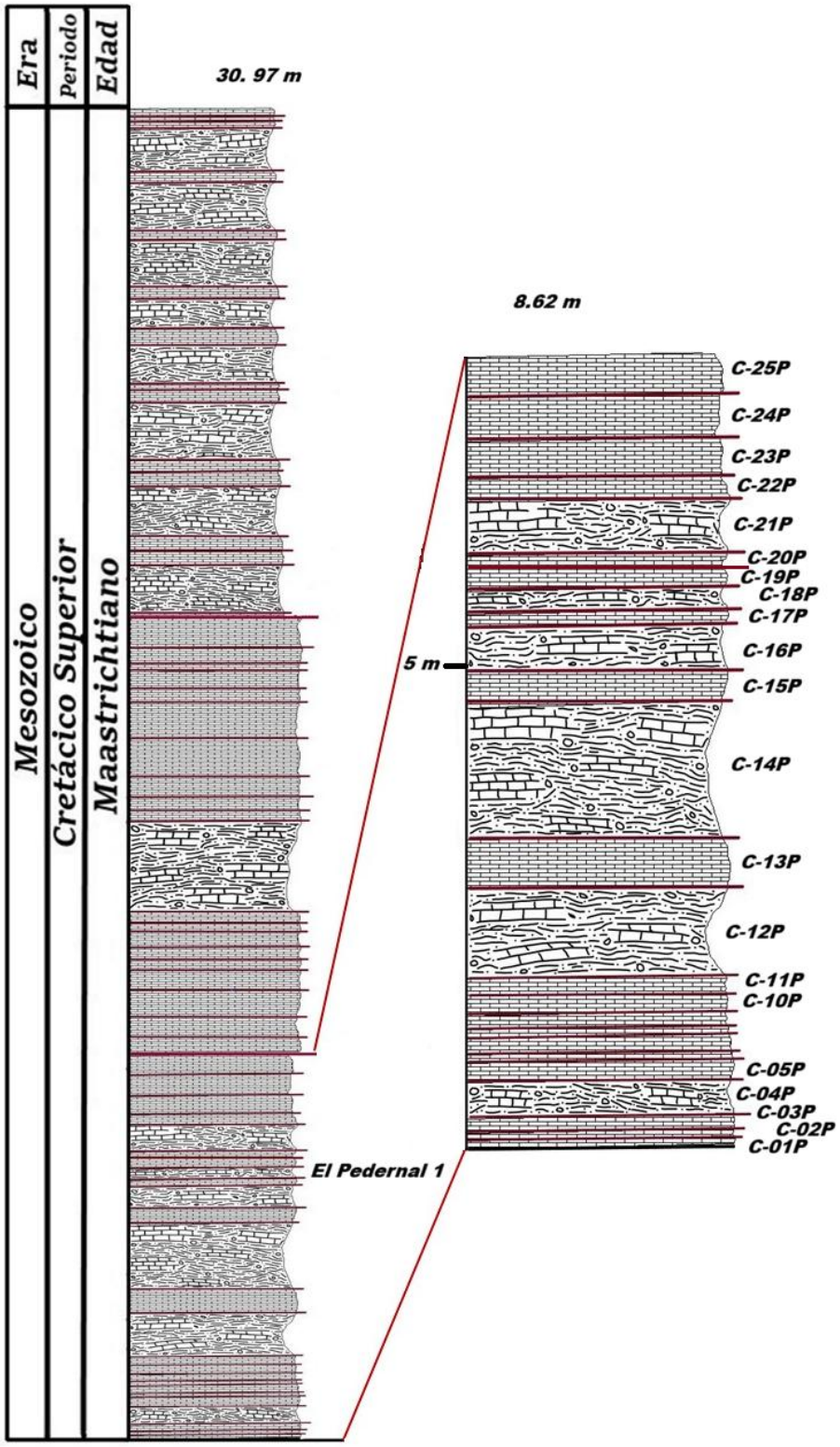


Figura 36-. Columna Pedernal 1, porción base de la columna estratigráfica El pedernal,

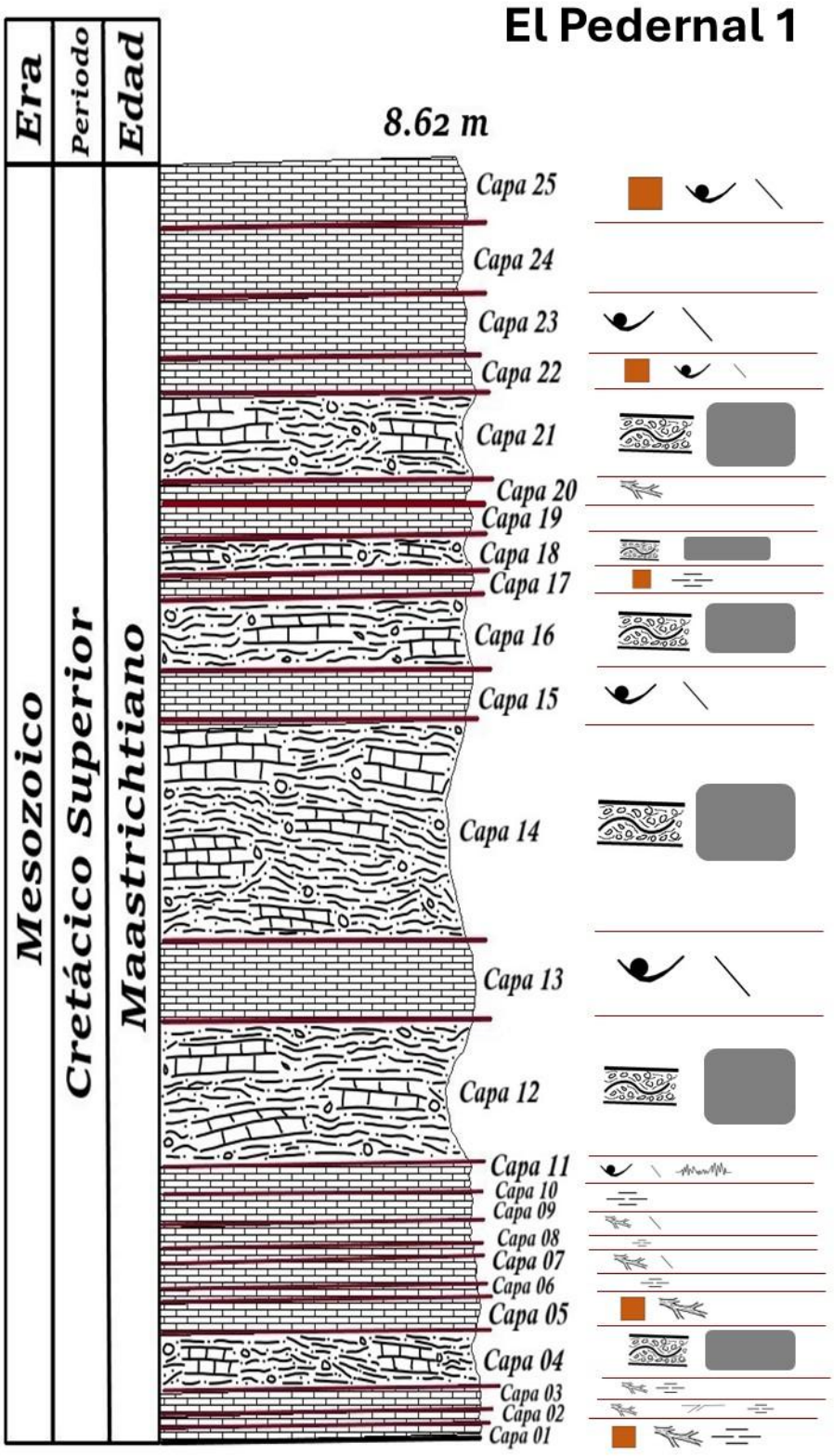


Figura 37-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 1.

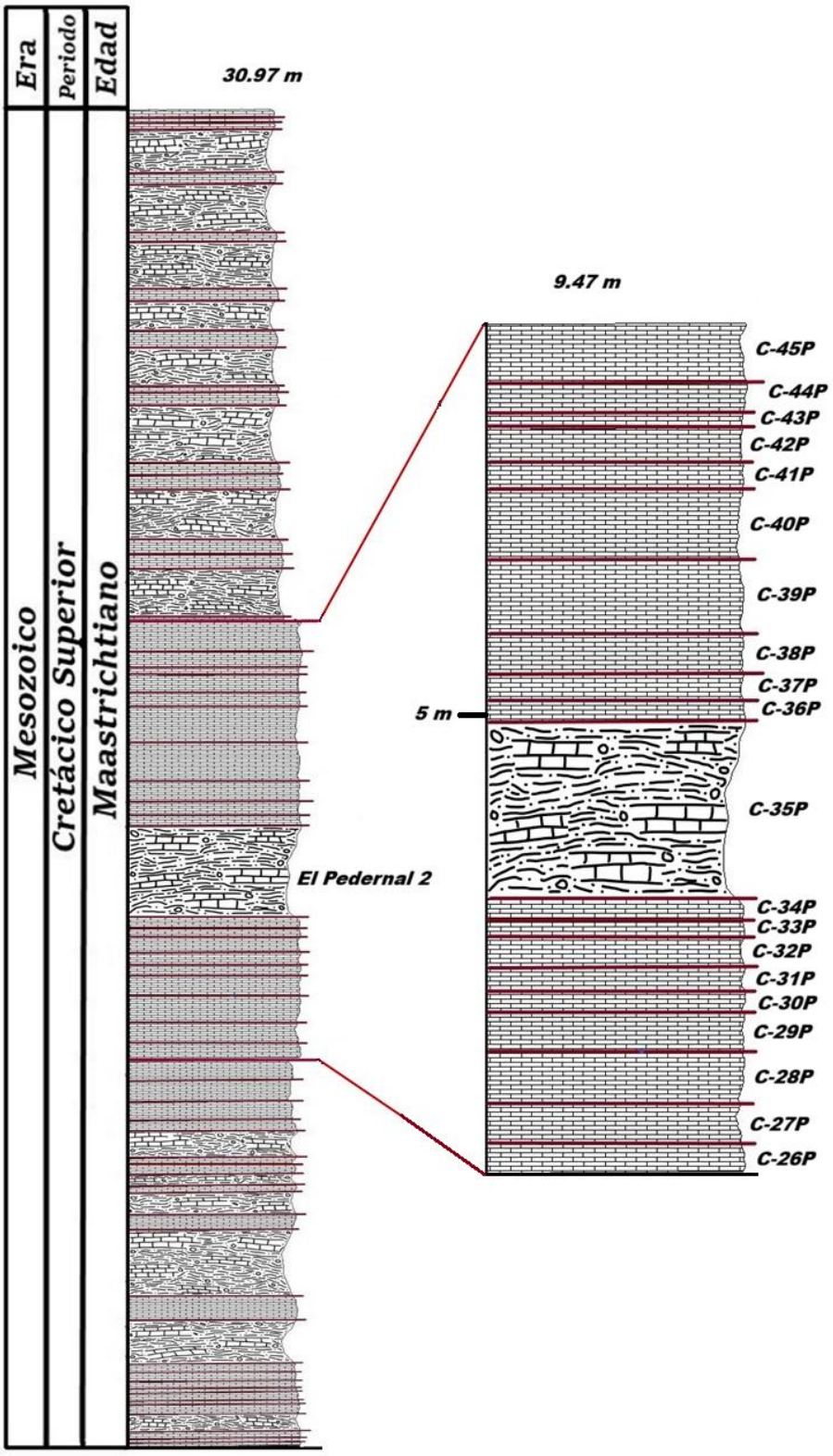


Figura 38-. Columna Pedernal 2, porción media de la columna estratigráfica El Pedernal,

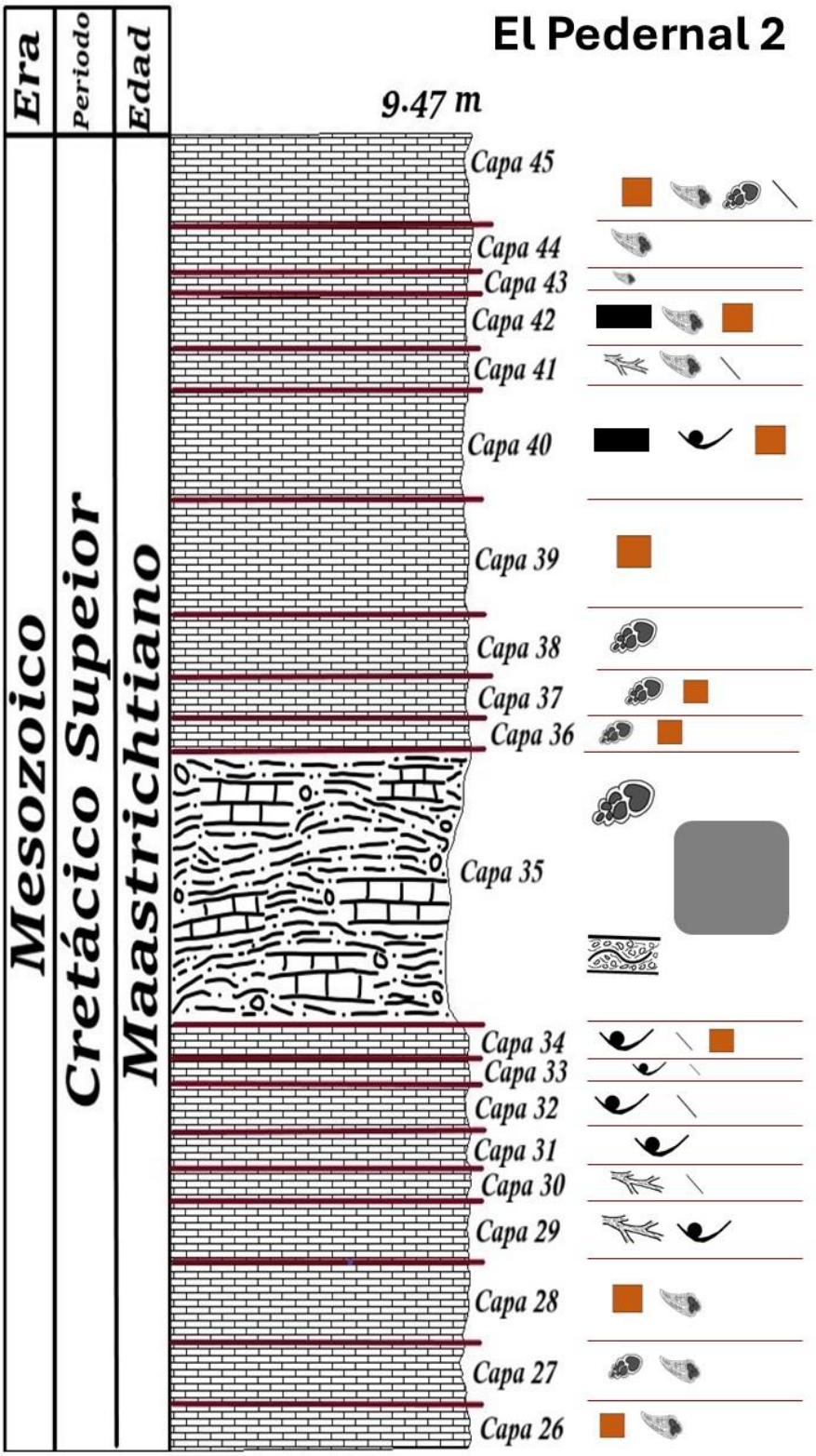


Figura 39-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 2.

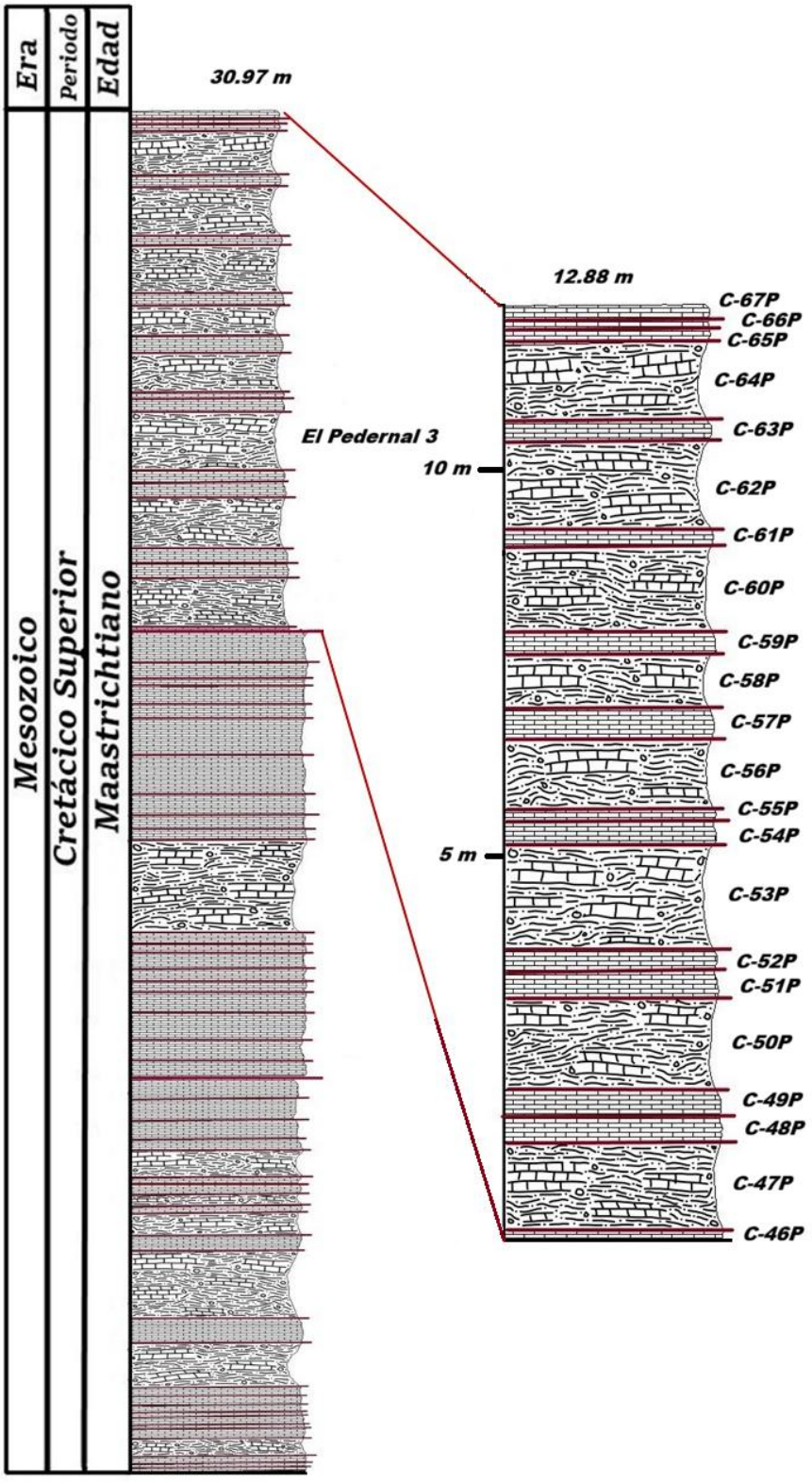


Figura 40-. Columna Pedernal 3, porción media de la columna estratigráfica El Pedernal,

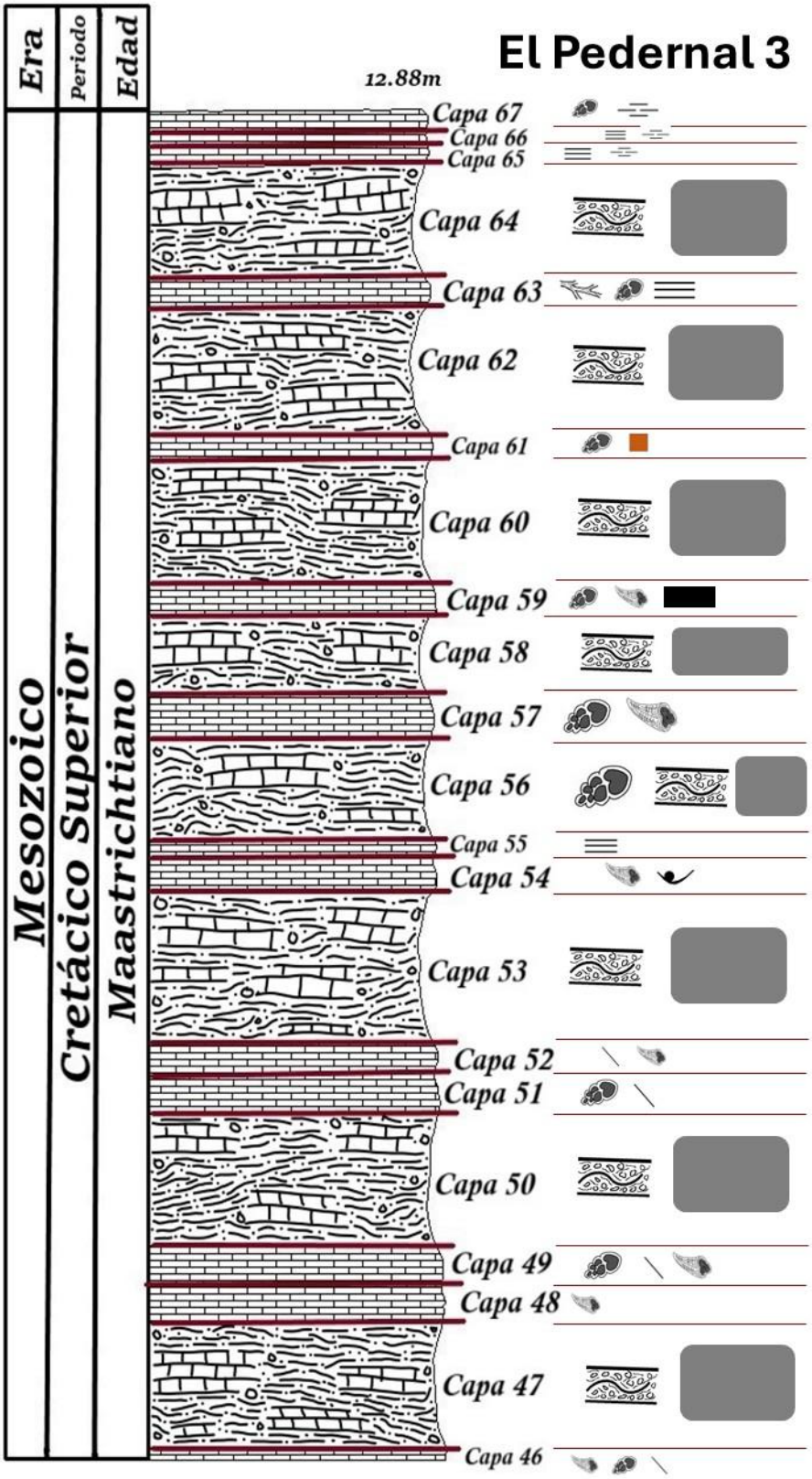


Figura 41-. Columna con características en muestra de mano y trabajo de campo, columna El Pedernal 3.

2.2 Bioestratigrafía

En este apartado se podrá consultar una breve descripción de los organismos encontrados en el área de estudio con la finalidad de crear una pequeña guía fósil y de esta manera correlacionar fácilmente el área de Peña de Salazar con lo visto en La Tapona. Para una mayor descripción el trabajo de Barboza-Treviño (2022) cuenta con la información de los mismos organismos fósiles de manera detallada. Sin embargo, algunas de las especies fósiles que no fueron encontradas en cada una de las áreas de estudio, cuentan con su descripción en cada trabajo según corresponda.

Macrofauna

Corales

Los corales son animales coloniales, pertenecientes al filo Cnidaria, la mayoría a la clase Anthozoa aunque algunos son de la clase Hydrozoa (como Millepora). Las colonias están formadas por cientos o miles de individuos llamados zooides y pueden alcanzar grandes dimensiones en aguas tropicales y subtropicales forman grandes arrecifes. El término «Coral» no tiene significado taxonómico y bajo él se incluyen diferentes tipos de organismos.



En campo se observaron ejemplares de tamaño pequeño en algunos caídos de roca caliza, perteneciente al perfil El Fénix, en el ejemplar de la figura 42 cuentas con 4.7 cm de largo y 3.5 cm de ancho.

Figura 42-. Fotografía de *Coral* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.



La figura 43 presenta un fragmento de coral vistos en campo con dimensiones pequeñas, 4.2 cm de largo por 1.6 cm de ancho.

Figura 43-. Fotografía de *Coral* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.

Moluscos

Los moluscos tienen una importante contribución a la formación de rocas. Los pelecípodos o lamelibranquios poseen dos valvas iguales o no en forma y tamaño (ejemplo los rudistas que son inequivalvos). Las conchas pueden ser de calcita, aragonita o ambas. Los pelecípodos de conchas gruesas corresponden a zonas de alta energía, pero la mayoría representan ambientes someros.

Bivalvos

Los Bivalvos tienen simetría bilateral, compuestos por dos valvas, que se articulan entre si mediante una superficie, en la que existen dientes y fosetas, dicho de otra forma, son organismo compuesto por dos valvas de márgenes angulares.

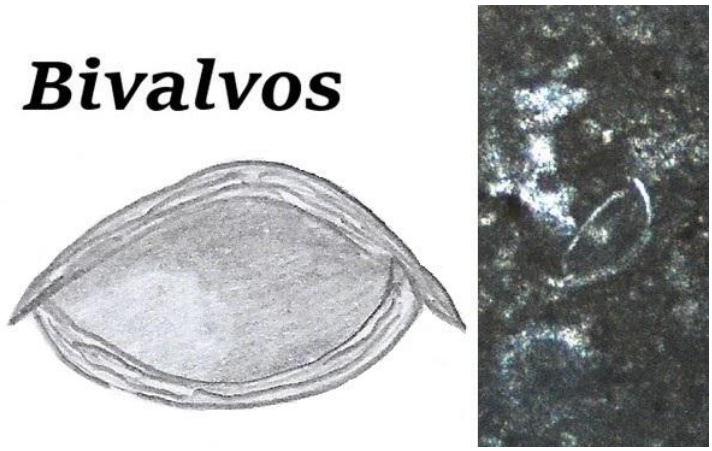


Figura 44-. Fotografía de *Bivalvo* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022).

Rudistas

Los *Rudistas* fueron *Bivalvos* sésiles de conducta gregaria caracterizados por una valva inferior y una valva superior de diferentes tamaños. Este grupo aparece en el Jurásico Superior en el continente europeo y no fue hasta el Cretácico que aparecieron en el continente americano, siendo organismos comunes y abundantes en plataformas carbonatadas someras.

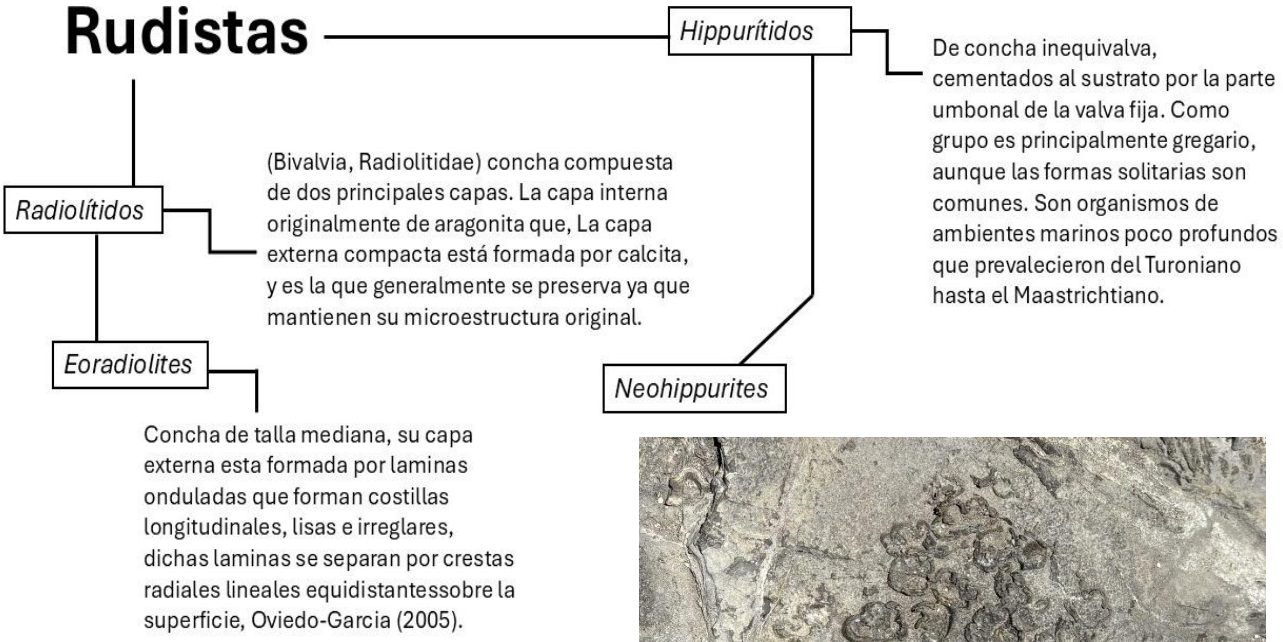




Figura 45-. Fotografía de *Neohippurites* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.



En la figura 46 se observa un fragmento de rudista encontrado en las capas de caliza pertenecientes al perfil El Fénix. Este rudista se muestra casi completo, por esta razón se observa que el organismo es de tamaño pequeño, sus dimensiones son 5.3 cm de largo y 3.6 cm a la parte más ancha.

Figura 46-. Fotografía de *rudista* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.



Figura 47-. Fotografía y Dibujo de Eoradiolites liratus para ilustrar los ejemplares encontrados en el área de La Tapona.

Gasterópodos

Presentan área cefálica, un pie musculoso ventral y una concha dorsal en su etapa de larva, sufren el fenómeno de torsión, que es el giro de la masa visceral sobre el pie y la cabeza. Se encuentran en casi todo tipo de ambientes incluyendo los desiertos, Están formados por una sola valva, normalmente cónica, enrollada en espiral, esta concha suele ser dextrógira y son los principales contribuyentes de material bioclástico. La mayoría son de composición aragonítica, pertenecen a ambientes marinos abiertos y profundos.

Turritellas

Datan del cretácico superior. También de los períodos del Paleógeno y el Neógeno, son organismos que viven enterrados parcialmente en fondos marinos preferentemente arenosos y fangosos relativamente profundos. Concha de tamaño medio a grande (puede alcanzar hasta 7 cm de longitud), de forma cónica turriculada, esto es, estrecha alta y puntiaguda. Está formado por vueltas de espira variables pero próximas a un número de 20, aplanadas y convexas y que están ornamentadas a base de cordones espirales o costillas que oscilan entre 3 y 6 vueltas. La última vuelta es baja (aproximadamente la cuarta o quinta parte de la altura total) y es de forma cilíndrica a ovalada. La apertura es pequeña y redondeada, a veces angulosa en el extremo superior.

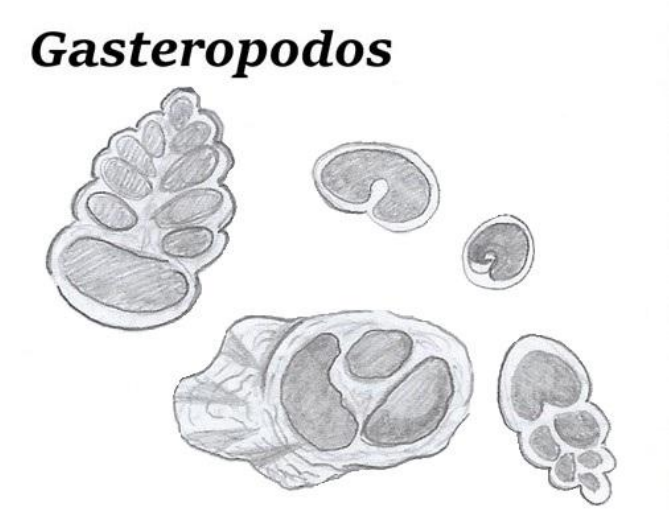


Figura 48-. Representación en dibujo de *gasterópodos* imagen modificada de Barboza-Treviño (2022).

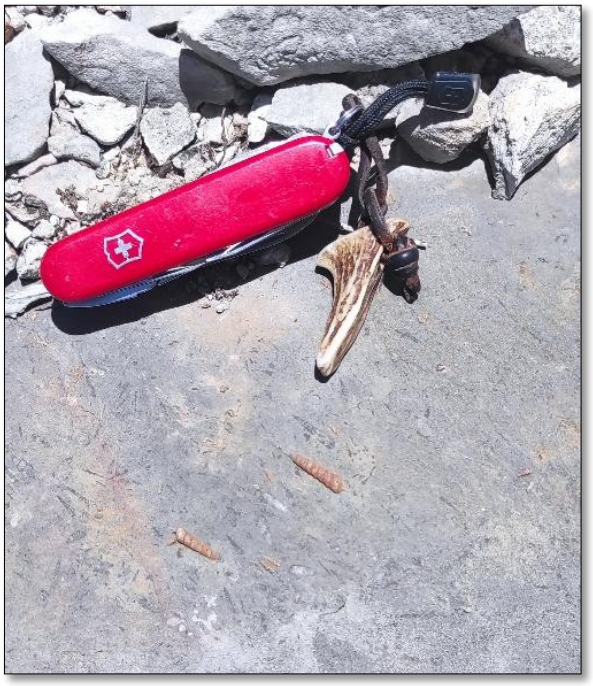


Figura 49-. Fotografía en campo de túrritelas.

Crustáceos

Ostrácodos

Los *ostrácodos* son una clase de *crustáceos* de muy reducido tamaño, muchas veces microscópicos (normalmente entre 0,1 y 2 mm). Los *Ostrácodos* son los *artrópodos* con el registro fósil más abundante gracias a la composición y tamaño de las valvas.

El primer registro de *ostrácodos* corresponde al Ordovícico (hace 500 millones de años aproximadamente) y, dado que son un grupo muy sensible a los cambios ambientales, constituyen una herramienta importante para las reconstrucciones paleoambiéntales. Son organismo compuesto por dos conchas con silueta redondeada a la periferia su figura se asemeja a un ovalo o un grano de arroz.

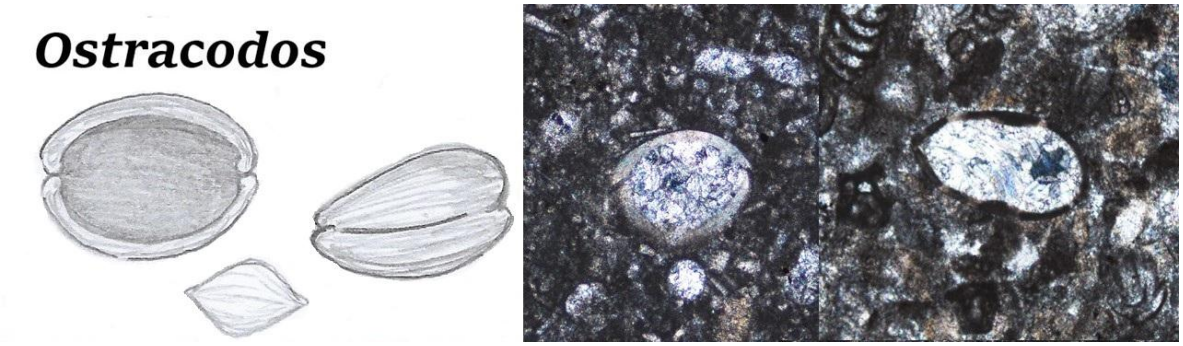


Figura 50-. Fotografía de *Ostrácodo* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022).

Briozoos

Los *Briozoarios* son organismos coloniales seciles, generalmente marinos asociados a los corales, y escasos en agua dulce, su tamaño es variable entre los 30 o 60 cm. Estos organismos se encuentran incrustados entre los arrecifes, rocas o conchas de invertebrados, a una profundidad de los 10 a los 100 m, aunque algunos llegan hasta los 6000 m y cada individuo es nombrado Zooide. A menudo aparecen como un conjunto de manchas o huecos rellenos por la matriz de la muestra y a la periferia aislados por una estructura de calcita o sustituida por esta, los huecos son asimétricos, no circulares.

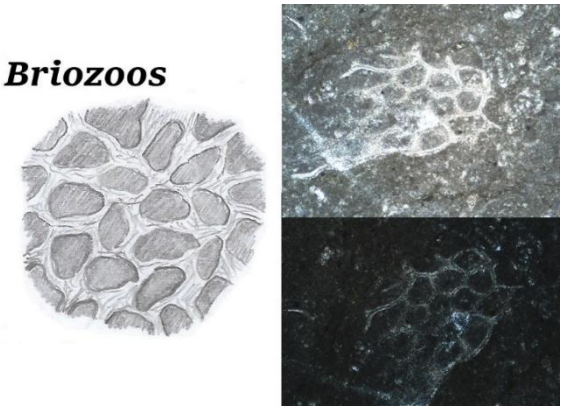


Figura 51-. Fotografía de *Briozooarios* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022).

Esponjas

Son animales sésiles que se alimentan mediante la filtración de agua a través de su cuerpo y la captura de pequeñas partículas. Las esponjas no cuentan con órganos especializados y se encuentran en una posición filogenética única, además estos organismos son uno de los grupos de animales más antiguos que existen, y se creen que llevan habitando la tierra desde hace 580 millones de años.

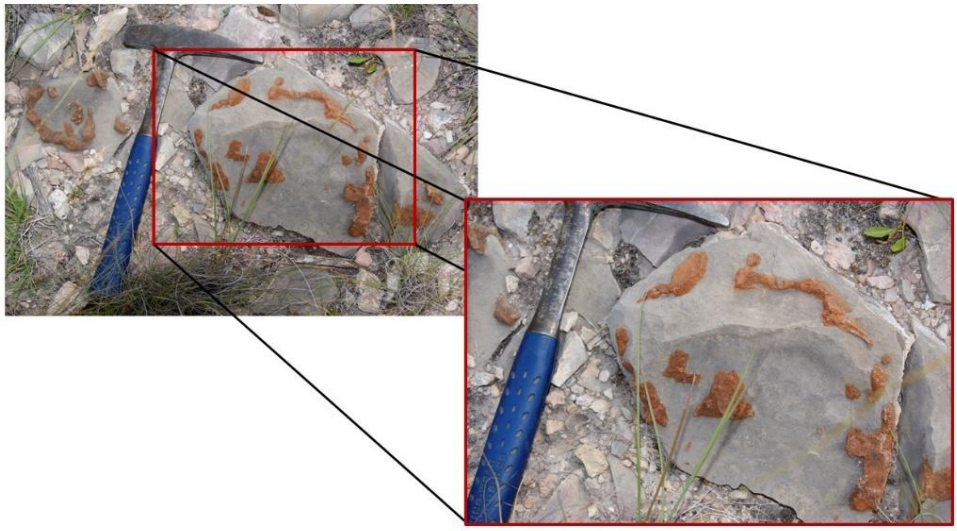


Figura 52-. Fotografía de *Esponjas* en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.

Algas

Alga roja /Permocalculus

Descripción: Talos levemente segmentados, segmentos largos, ovoides o subcilíndricos, con dedos irregulares e hinchados con poros finos en la zona exterior, esporangios internos que no son visibles. La calcificación varía de capas finas a gruesas a calcificación total. A menudo se acumulan fragmentos de tallos rotos. Distribución estratigráfica: Cenomaniano.
Organismo circular con un cuadro bien definido al centro, relleno del material de la matriz.

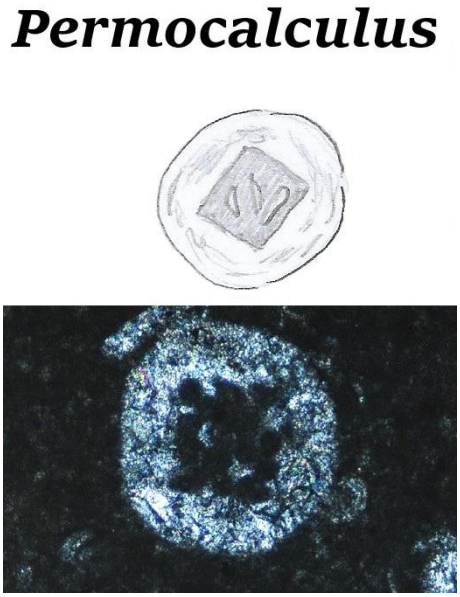
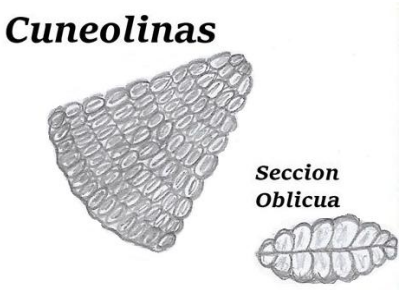
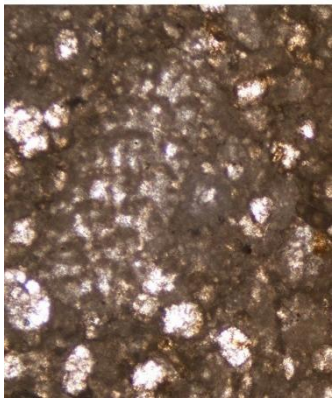
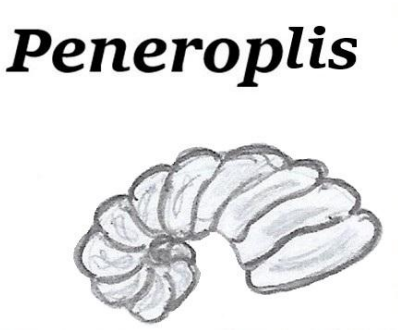


Figura 53-. Fotografía de *Permocalculus* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022).

Microfauna

Foraminífero	Descripción	Ilustración
Lenticulinas	Es un género de foraminífero bentónico, su especie tipo es Lenticulites rotulatus. Su rango cronoestratigráfico abarca desde el Triásico hasta la Actualidad. Organismo compuesto por cámaras que adaptan su forma al giro de manera simétrica, estas cámaras no son redondeadas completamente. La composición es aglutinada, se pueden contar hasta 17 cámaras en un ejemplar.	Figura 54-. Dibujo de *Lenticulina* en lámina delgada, modificada de Barboza-Treviño (2022). 
Nezzazatinellas	Cocha planiespiral involuta, de composición aglutinada, presenta una forma discoidal. En sección trasversal presenta un prolóculo seguido de las cámaras que se enrollan en tres o cuatro vueltas. Las primeras cámaras de la primera vuelta tienen una forma romboidal, después se hacen más altas. Su edad es Barremiano – Turoniano. Organismos compuestos por varias cámaras pequeñas y amplias, dando un giro de crecimiento al centro, pudiéndose observar un espacio libre dependiendo el corte en lámina delgada.	Figura 55-. Fotografía de *Nezzazatinella* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022). 
Miliolidos	Son un grupo de foraminíferos bentónicos que presentan conchas aporcelanadas, compuestas de cristales de calcita. La testa carece de poros y tiene generalmente compartimentos múltiples, que se organizan de manera distintiva denominada Miliolina.	Figura 56-. dibujo de *Miliolido* en lámina delgada, modificada de Barboza-Treviño (2 022). 

Cuneolinas pavonia d´orbigny	Concha libre comprimida, cónica flabeliforme, cámaras amplias y bajas arregladas de forma biserial, comúnmente comprimida. Interior dividido en camaritas casi rectangulares por particiones radiales originándose perpendicular a la pared externa y proyectándose al plano de biserialidad y por particiones horizontales paralelas a los septos. Su edad va del Valanginiano al Coniaciano. Organismo con forma discal, con aspecto rugoso que aparenta pequeñas cámaras, ornamentación reticulada en corte axial de tipo concéntrico en secciones o capas, se presenta en la mayoría de los casos en forma radial y en ocasiones en una figura oval y haciendo la ilusión de un organismo biceral, dependiendo el corte.	Figura 57-. Fotografía de *Cuneolina* en lámina delgada y representación en dibujo, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022). 
Dicyclinas schlumbergeri	*Dicyclina* es un género de foraminífero bentónico de la familia Dicyclinidae, de la superfamilia Ataxophragmioidea, del suborden Ataxophragmiina y del orden Loftusiida. Su especie tipo es *Dicyclina schlumbergeri*. Su rango cronoestratigráfico abarca desde el Albiano (Cretácico inferior) hasta el Santoniano (Cretácico superior).	Figura 58-. Fotografía de *Dicyclina* en lámina delgada, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022). **Dicyclina** 

Peneroplis parvus	Este organismo se compone por concha planiespiral o parcialmente involuto de composición aglutinada, con o sin estadio desenrollado uniseriado; suturas parcialmente deprimidas. El número de cámaras en la primera vuelta varía entre 5 y 6, aumentando hasta 9 u 11 en la última vuelta. Su edad es Cenomaniano superior. Organismo compuesto por cámaras alargadas ordenadas a manera de giro, pero con un giro amplio de las camas más recuentes dando una apariencia alargada en el animal en sí. En los ejemplares identificados en este trabajo se logran contar hasta 22 cámaras.	Figura 59-. Fotografía de *Peneroplis* en lámina delgada y representación en dibujo imagen modificada de Barboza-Treviño (2022). 
Pseudolituonellas reichellí	Se trata de una concha alargada cónica, primera parte con un corto estadio planispiral, después un estadio uniserial con cámaras anchas y bajas. El interior de la cámara con pilares tubulares proyectándose hacia arriba desde los márgenes de las aberturas circulares, pero no atravesando completamente las cámaras. Su edad va del Albiano al Cenomaniano y su composición es aglutinada.	Figura 60-. Fotografía de *Pseudolituonella* en lámina delgada y representación en dibujo, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022). 
Textularia/ Textularina	Organismo de composición aglutinada, biserial de sutura simple, con forma de la concha tabular, compuesto por cámaras, en algunos ejemplares se llegan a contar hasta 13 cámaras, que crecen gradualmente, se aprecia compacta, de silueta robusta a la	Figura 61-. Fotografía de *Textularia* en lámina delgada y representación en dibujo, imagen modificada de Barboza-Treviño (2022).

	parte superior, el tamaño de las cámaras varia. La edad va del Barriaciano a la actualidad.	

Tabla 7-. Descripción de foraminíferos que aparecen en las láminas delgadas de la zona de estudio.

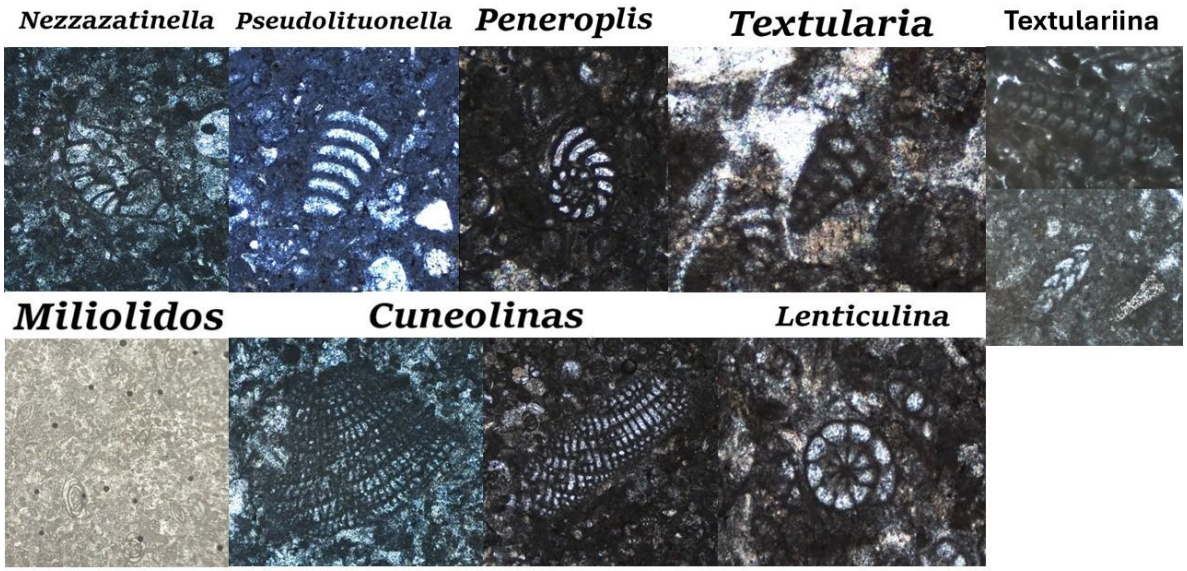


Figura 62-. Imágenes de los diferentes foraminíferos encontrados en la zona de estudio, para ilustrar como se ven en lámina delgada.



Figura 63-. Simbología para contenido de las columnas en lámina delgada, microfósiles, modificado de Barboza-Treviño (2022).

Con este registro fósil se hace un análisis bioestratigráfico de cada una de las capas que componen las tres columnas, basadas en las muestras recolectadas en cada una de las secuencias para generar laminas delgadas, los resultados se pueden consultar en las tablas 9,10 y 11, que se encuentran en el siguiente capítulo de este trabajo, en este caso los resultados para el análisis microfósil fueron los siguientes; para la columna El Fénix (Figura 64) se observan en general fósiles casi completos y bioclástos de rudistas, gasterópodos y algunos organismos no identificables de más de 2 mm, además microorganismos como; briozooarios, permocalculous, ostrácodos, bivalvos, miliolidos, lenticulinas, penroplis, cuneolinas, textularias, textulariinas, nodosinellas, nezzazatinellas, pseudolitonellas y algunos fragmentos no identificados menores a 2mm.

En general las columnas Fénix 1, Fénix 2 (Figura 65) y Fénix 3 (Figura 66) contienen variedad de especies en cuanto a los organismos antes mencionados, pero algunas de las capas cuentan con abundancia como si marcaran una etapas o tramos con mayor cantidad de organismos. Los más destacables en cuanto a aparición o recurrencia en estas capas son los ostrácodos, bivalvos, rudistas y gasterópodos, y los de menor recurrencia son las nodosinellas, los permocalculus, los briozooarios y las cuneolinas.

Para las columnas de El Mulero (Figuras 67, 68 y 69) y El Pedernal (Figuras 70, 71 y 72), se observan casos similares a los de la columna El Fénix donde se presentan abundancia fósil en algunas capas o variedad de organismos en cada una de las columnas, los fósiles con mayor recurrencia son los ostrácodos, bivalvos y rudistas para los tres casos y en general los organismos con menor presencia son las Cuneolinas, nodosinellas y Dicyclinas.

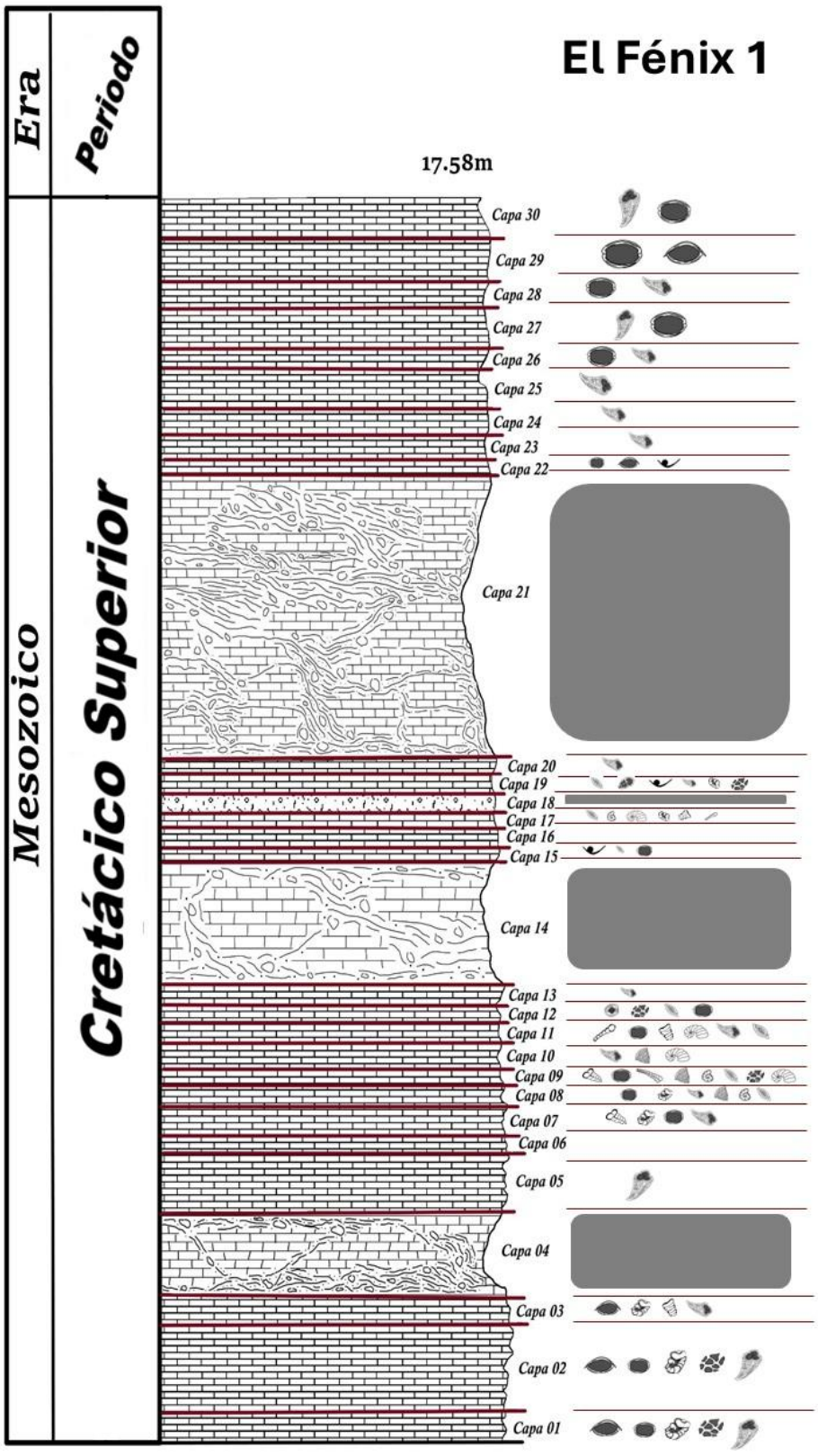


Figura 64-. Columna con características en lámina delgada, columna el Fénix 1.

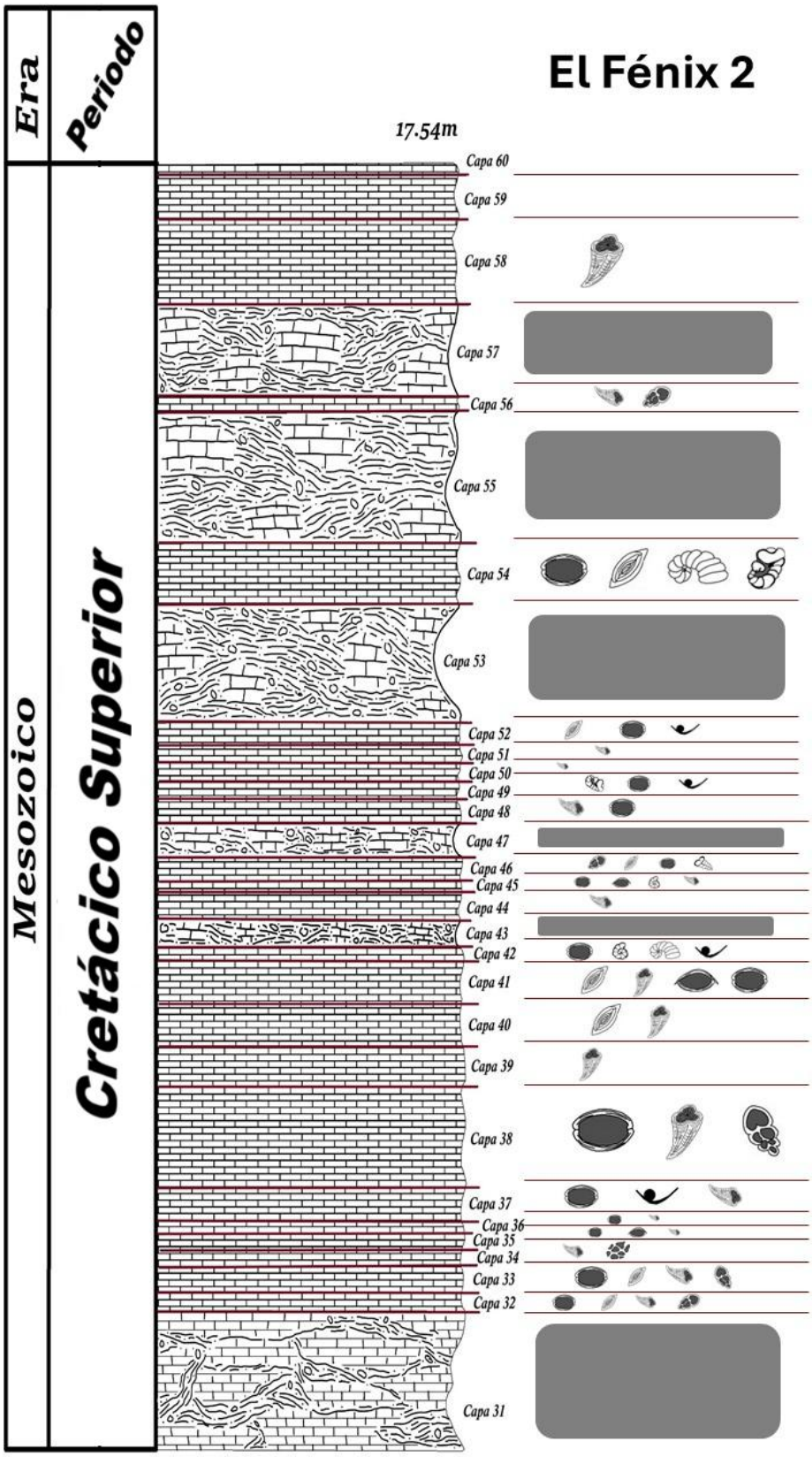


Figura 65-. Columna con características en lámina delgada, columna el Fénix 2.

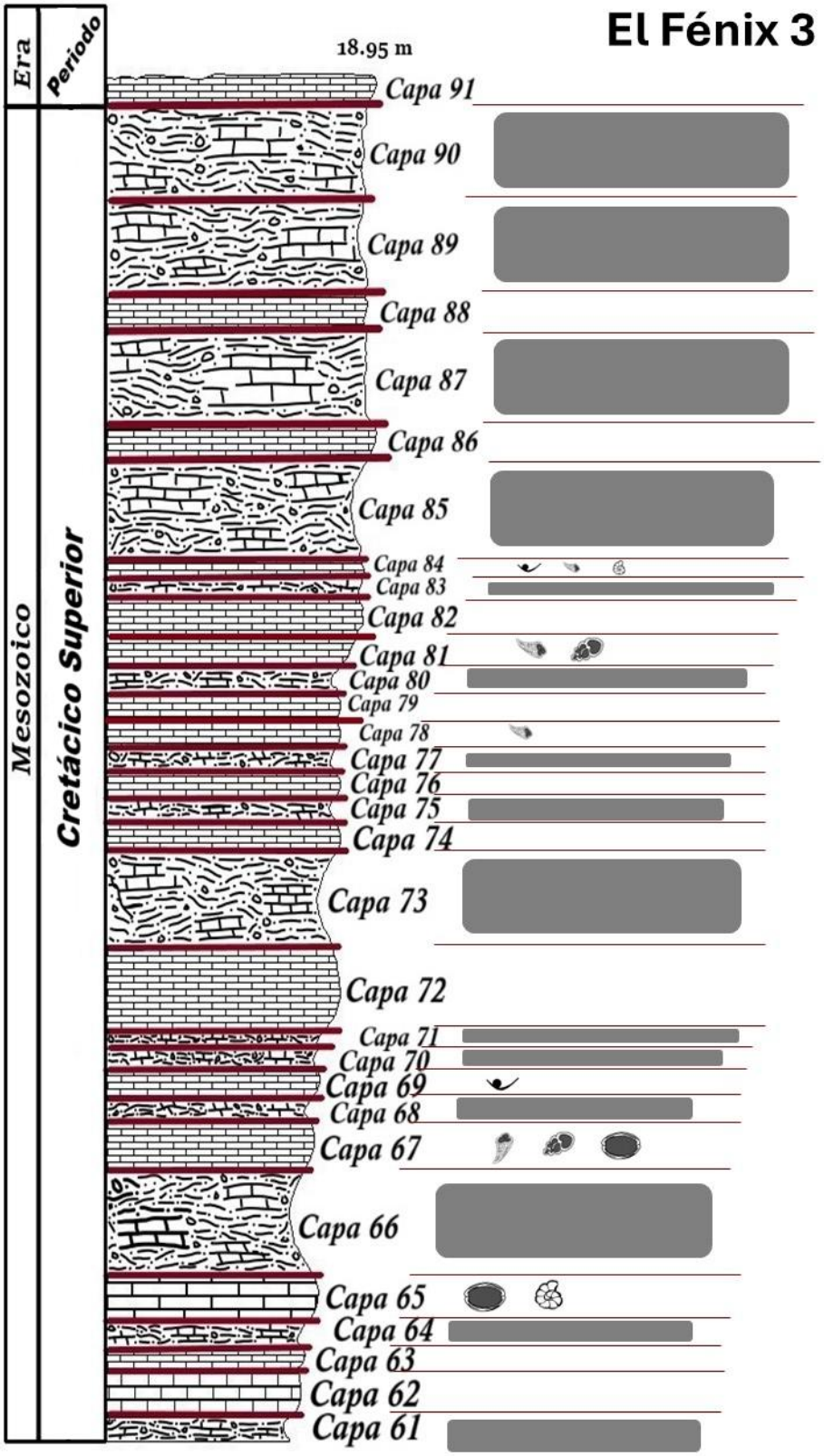


Figura 66-. Columna con características en lámina delgada, columna el Fénix 3.

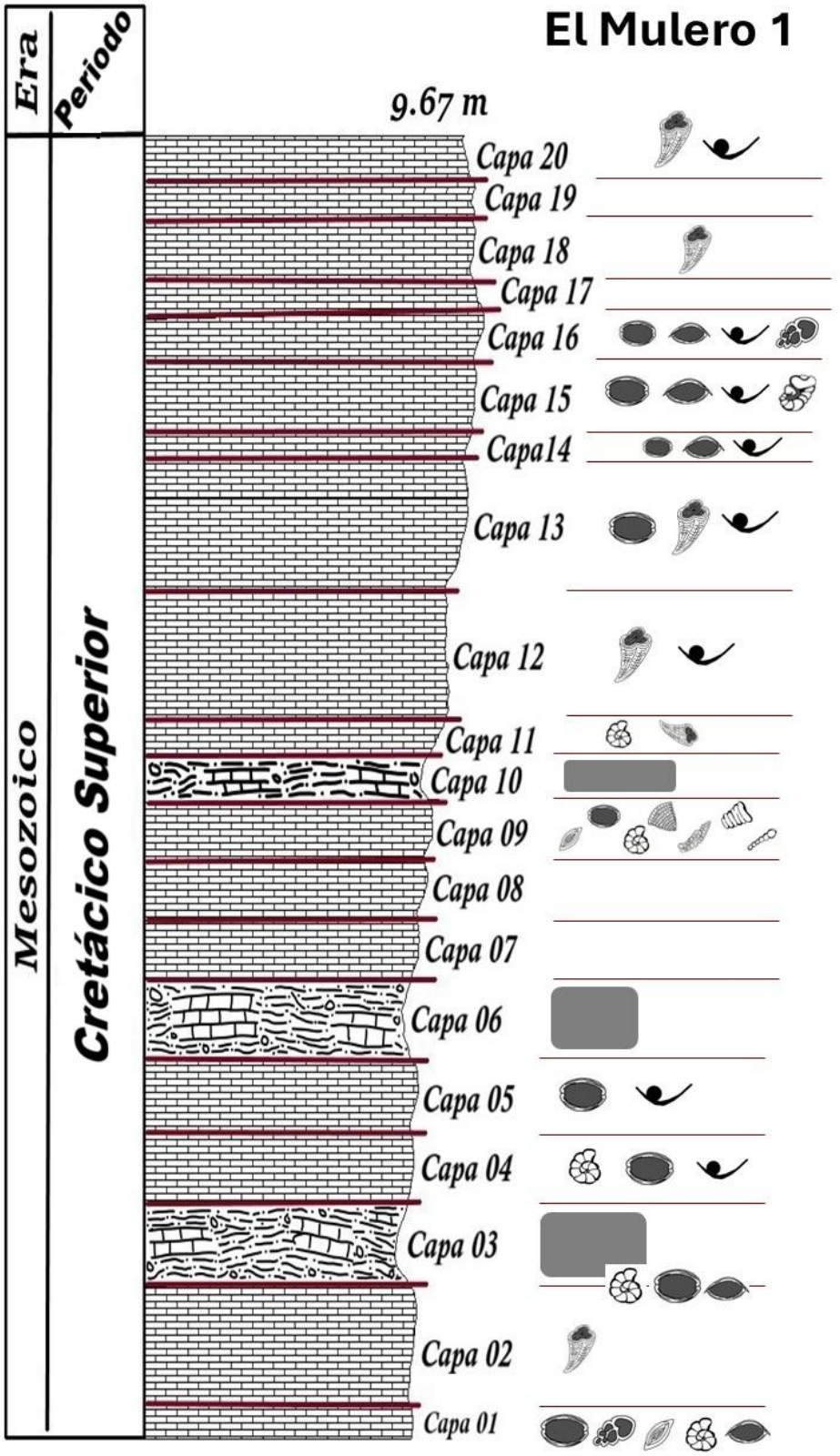


Figura 67-. Columna con características en lámina delgada, columna el Mulero 1.

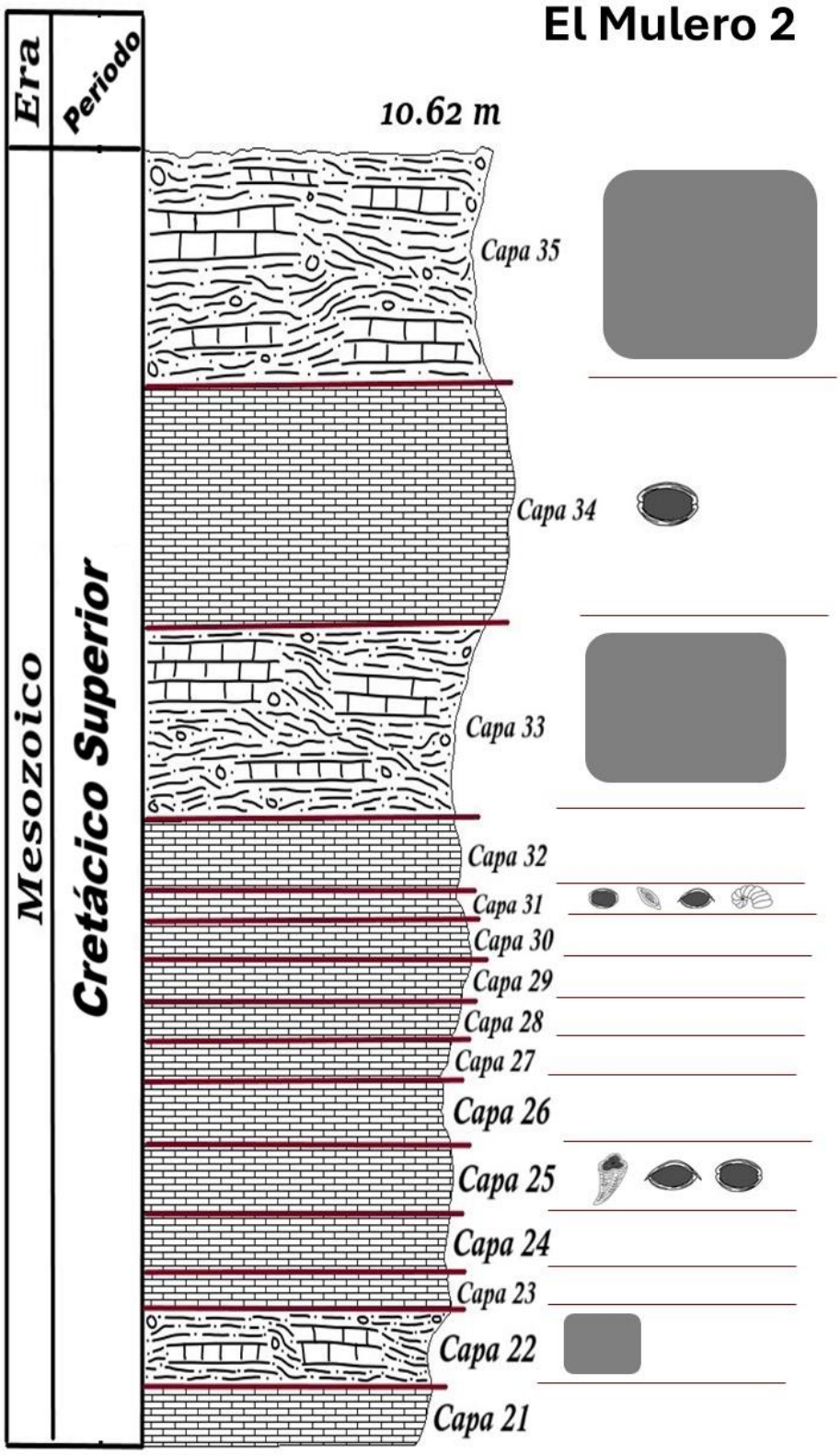


Figura 68-. Columna con características en lámina delgada, columna el Mulero 2.

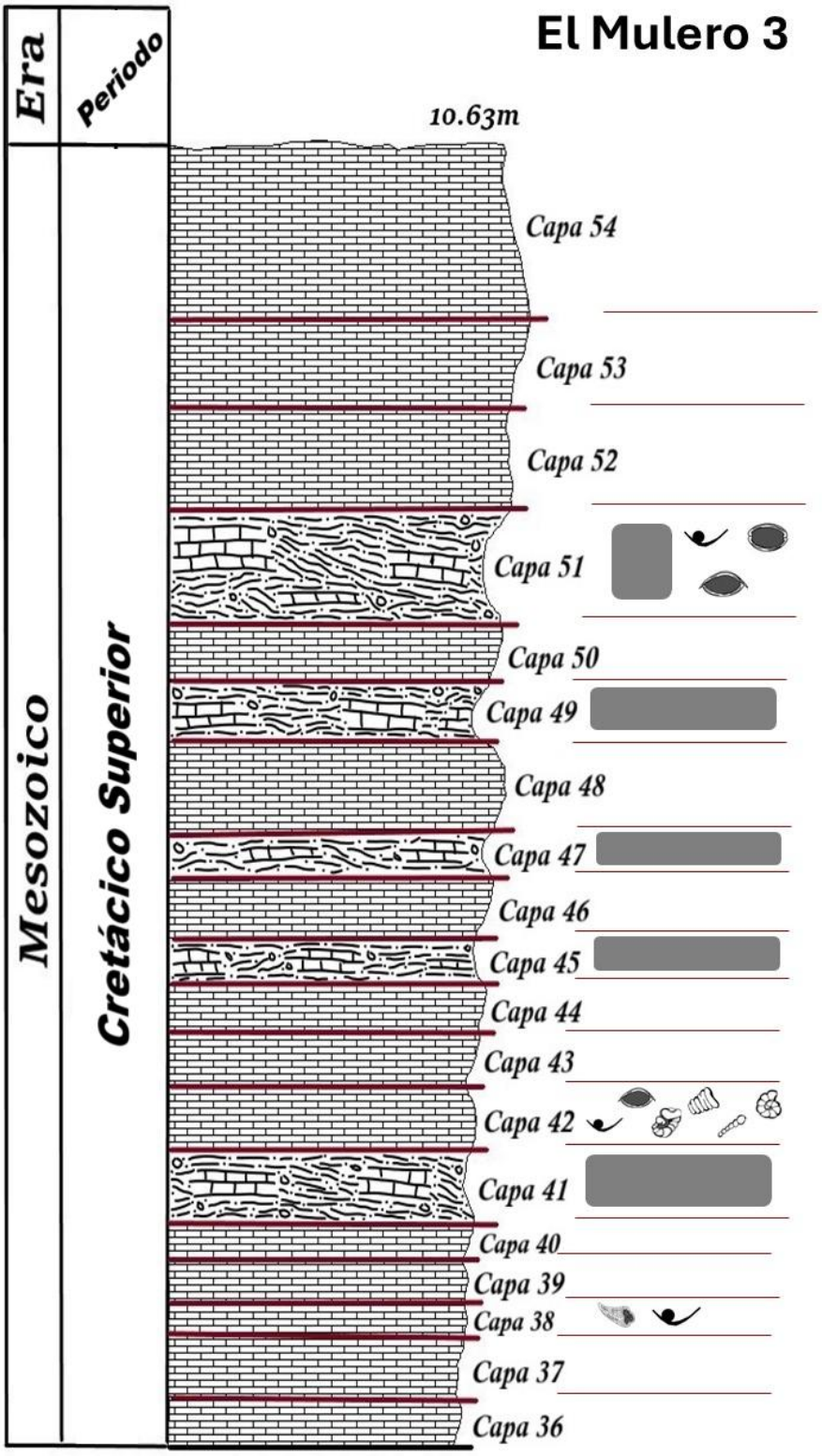


Figura 69-. Columna con características en lámina delgada, columna el Mulero 3.

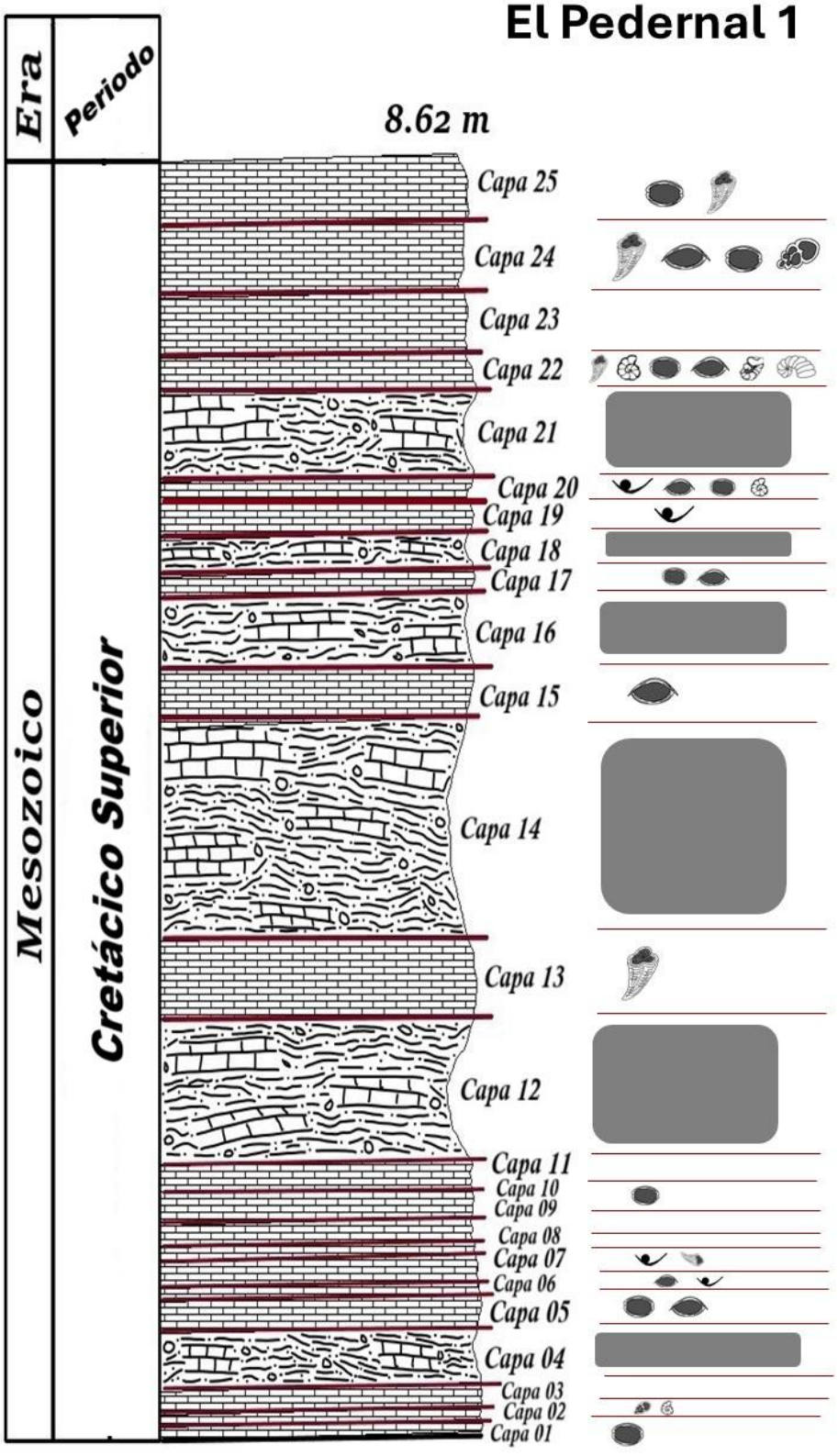


Figura 70-. Columna con características en lámina delgada, columna el Pedernal 1

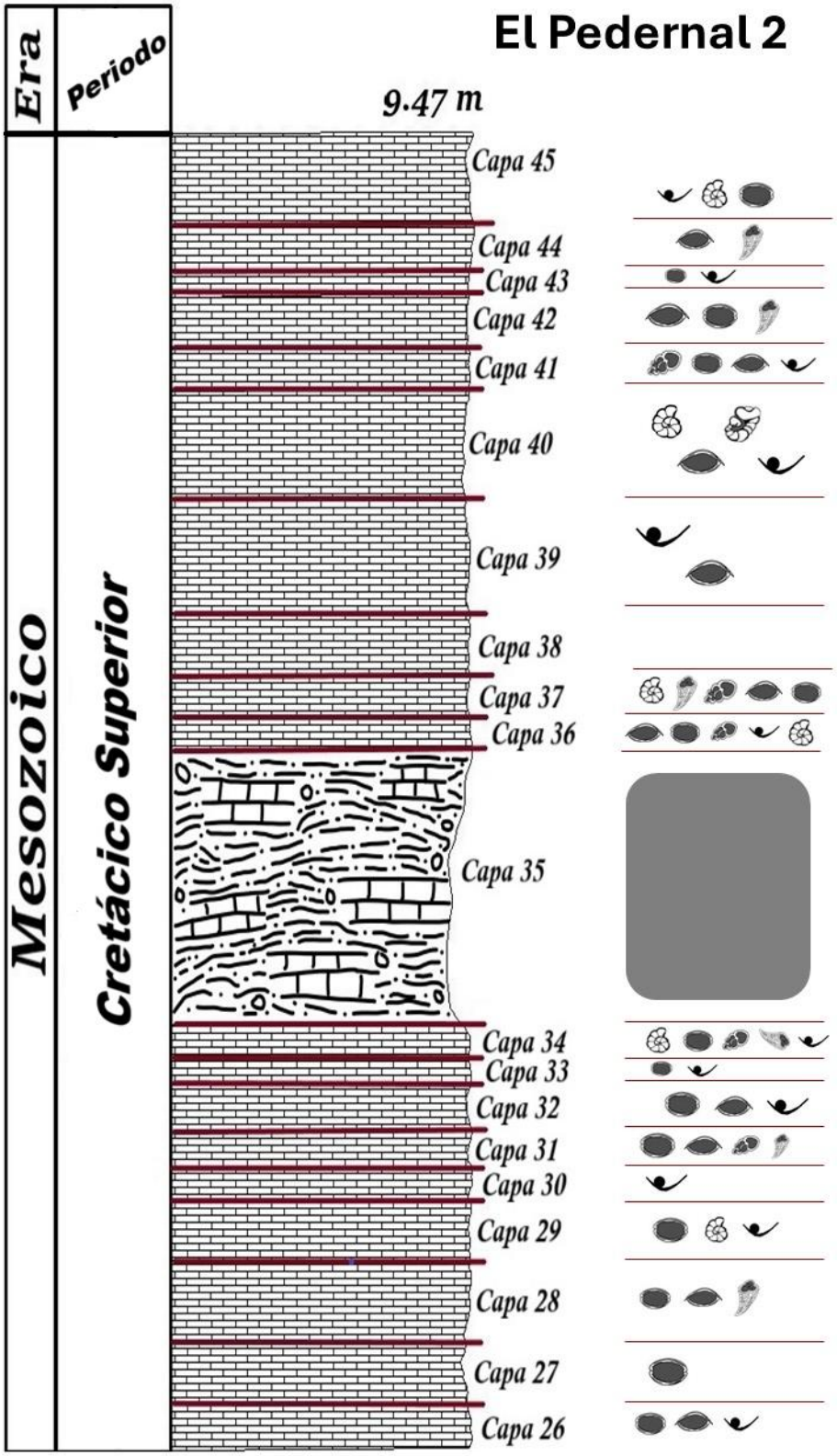


Figura 71-. Columna con características en lámina delgada, columna el Pedernal 2.

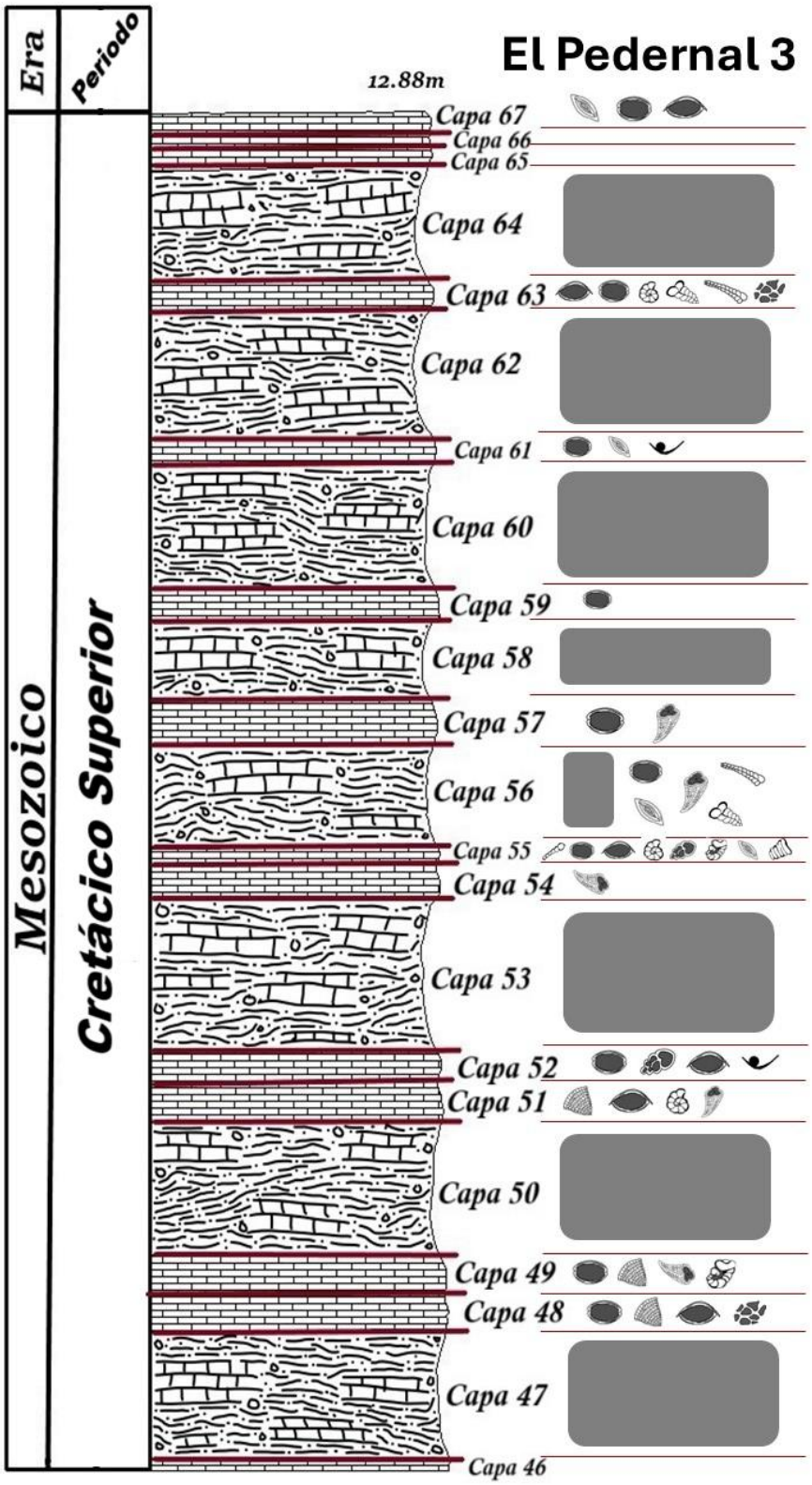


Figura 72-. Columna con características en lámina delgada, columna el Pedernal 3.

2.3 Icnofauna

En el área de estudio es abundante la presencia de marcas de bioturbación en algunas capas de las columnas medidas y en zonas determinadas del terreno, como el caso del arroyo principal, llamado Pedernal, donde quedan expuestas dichas marcas biológicas a manera de testigo o indicador de ambientes someros y medios de carácter lodoso, de ahí la importancia de documentarlas y ubicarlas en el perfil para determinar su posición.

En esta investigación se mencionará de manera breve la icnofacie y el ignogénero presentes en el área. para una mayor descripción de esto se puede revisar a Barboza-Treviño (2022).

La icnofacie que se presenta con mayor frecuencia en la zona de estudio es la llamada de Skolithos esta se desarrolla en las líneas de costa y/o en las zonas de rompiente, a 10 m en cuanto a la batimetría, así como en los frentes deltaicos, barras, deltas de marea y abanicos submarinos. Se producen por el movimiento rápido de sedimentos, realizado por organismos alimentadores. Se da en sustratos fangosos, como es el caso del área de estudio. Se caracterizan por ser perforaciones predominantemente vegetales, cilíndricas o en forma de U.

En cuanto al ignogenero es el denominado Thalassinoides, se describe como una estructura compleja donde son comunes las intersecciones en forma de Y. En el área de estudio, se presentan estructuras tubulares, ramificadas y con la forma ya mencionada de Y.

En cuanto al porcentaje de bioturbación, se determinó que es del 5% al 50% para la zona en general, es decir, baja a moderada. Pero la zona del perfil El Pedernal presenta una bioturbación intensa, del 81% al 95%, por la saturación de marcas, que aún se pueden distinguir en el estrato, esto con base en la tabla de porcentaje de bioturbación de Tucker (2003).

Grado	Porcentaje %	Clasificación
0	**0**	Sin bioturbación
1	**1-4**	Bioturbación **escasa:** icnofósiles discretos, se distinguen laminación y estratos.
2	**5-20**	Bioturbación **baja:** baja densidad de icnofósiles, estructuras de escape comunes.
3	**21-50**	Bioturbación **moderada:** límites entre estratos cortados por icnofósiles, traslapes de icnofosiles raros.
4	**51-80**	Bioturbación **alta:** alta densidad de icnofósiles traslapados.
5	**81-95**	Bioturbación **intensa:** estratos completamente perturbados, pero aún se distinguen.
6	**96-100**	Bioturbación **completa:** sedimento totalmente retrabajado.

Tabla 8: Intensidad o porcentaje de bioturbación de Tucker (2003).

El área de estudio está repleta de marcas de bioturbación, por esta razón se trató de clasificar dichas marcas de una manera generalizada, rápida, pero con la suficiente atención para determinar su icnofacie he icnogénero correspondiente, los resultados de estas observaciones se presentan a continuación con fotografías, algunas medidas y además ilustraciones de apoyo. Para esto también se tiene que hacer mención de la distribución ambiental de las distintas icnofacies, como se muestra en la figura 72, donde se aprecian distintas icnofacies con sus icnogeneros correspondientes, para este trabajo se determinó que aparecen Skolitos, Glossifungites y Cruziana, en orden de recurrencia, siendo la icnofacie de Skolitos la que cuenta con mayor presencia. El ambiente que se sugiere en el área cuenta con las características de los 200 m de profundidad o previo a los 200 m, es decir, ambientes como costas arenosas, sustratos semi-consolidados, posiblemente algo de costa rocosa y nada más allá de la zona sublitoral.

Entonces los icnogéneros que se presentan en la zona son Thalassinoides, Diplocaterion y Rhizocorallium, en orden de presencia, la figura, muestra un dibujo de cada uno de ellos para visualizarlos fácilmente.

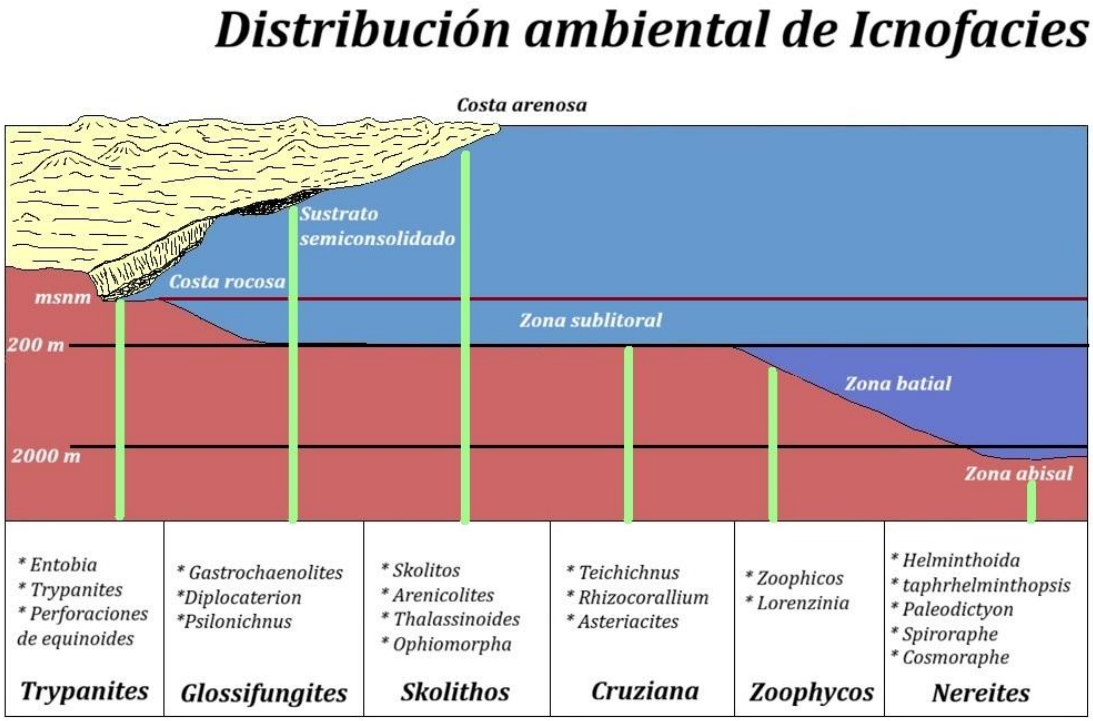


Figura 73-. Distribución ambiental de icnofacies, modificado de Pemberton (1992).

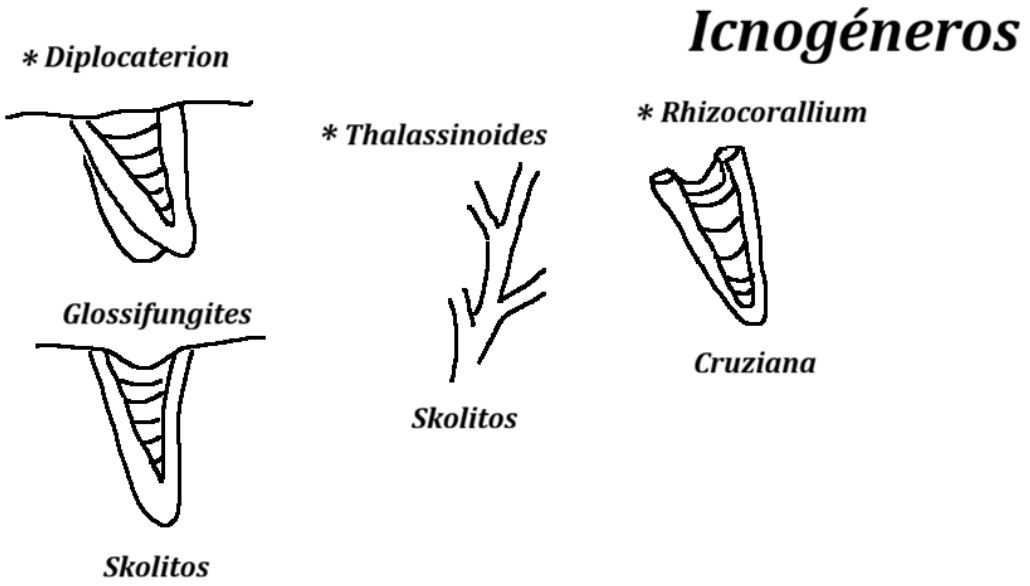


Figura 74-. Dibujos de los ignogéneros presentes en la zona de estudio, modificado de Pemberton (1992).

Roca de tonalidad crema a hueso con proporciones de 7 cm de largo y 6 cm de ancho, la figura, en este fragmento se presenta una marca de forma tubular parecida a un cigarro, donde se aprecian trazos de crecimiento o avance interno en forma de u, podría tratarse de la icnofacie llamada cruziana, dicha estructura cuenta con 3.5 cm de largo y 0.8 mm en cuanto a grosor.



Figura 75-. Fotografía de la icnofacie Cruziana en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.



Bloque de roca caliza con tonalidad gris claro, en el arroyo El Pedernal, figura , en ella se muestran marcas del icnogenero Thalassinoides y de Diplocaterion, la icnofacie de Skolitos y Glossifungites en este caso se mezclan dos tipos de icnofacies, algunas de las marcas tienen forma de ramificaciones o de Y, mientras que en otras se aprecian formas cilindricas tendiendo a la forma de U, en el caso de las marcas en Y no superan los 5 cm de largo y 1 cm de ancho, por otro lado las marcas de U son de mayor grosor con, por lo menos 5 cm y no superando los 15 cm de largo, en este caso se presentan las marcas más claras de toda la zona.

Figura 76-. Fotografía de bioturbación en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.

Los bloques caídos pertenecientes a las columnas El Fénix, y El Mulero figura , son de roca caliza con tonalidades que van del gris claro a verdoso y en algunos casos se ve una tendencia a los tonos violetas, en ambas muestras se presenta el icnogenero Thalassinoides y la icnofacie de Skolitos, la diferencia más clara es el tamaño de dichas marcas, en el caso de la derecha se pueden apreciar marcas diminutas de no más de 10 cm y en cantidades elevadas o saturadas en todo el bloque, por otro lado en la imagen de la izquierda se pueden apreciar marcas cilíndricas definidas, con menos presencia de ellas y de un tamaño mayor, que no superan los 20 o 25 cm largo y posiblemente no más de 5 cm de ancho.



Figura 77-. Fotografía de Thalassinoides en la zona de estudio, pertenece a la Formación El Abra.

En el caso de la columna El Pedernal, específicamente en la capa LIC24-06P, se muestra una caliza de tonalidad gris a verde con tendencia a tonos amarillentos, las marcas registradas son de una forma tubular ramificada o en forma de Y, lo que las clasifica como icnogenero Thalassinoides y la icnofacie de Skolitos, con proporciones de 7 cm de largo y menores a un centímetro de espesor.



Figura 78-. Fotografía de Thalassinoides en la capa LIC24-06P, pertenece a la Formación El Abra.

Finalmente se muestra un fragmento de roca caliza de tonalidad gris claro a violeta con tendencia a los tonos ocres o rojizos, del perfil El Fénix, en este caso las marcas son de la icnofacie Skolitos, del icnogenero Thalassinoides, se pueden apreciar trazos cilíndricos o tubulares de por lo menos 5 a 6 cm de grosor en el trazo principal y las ramas o brazos de dicho trazo de 1 a 2 cm de grosor, en esta misma estructura se pude observar que mide por lo menos 15 cm de largo.



Figura 79-. Fotografía de Thalassinoides en el perfil El Fénix, pertenece a la Formación El Abra.

2.4 Edad de la asociación faunística

El análisis faunístico arroja resultados similares al registro tomado en Peña de Salazar, con algunas excepciones como el caso de los equinodermos, que no se presentan en el área de estudio o las esponjas que si aparecen en La Tapona. en este trabajo se tomaron en cuenta los organismos macroscópicos encontrados en campo, como las esponjas, aunque estas no son candidatos para determinar una edad, ya que, si bien son identificables en campo, no se cuenta con la opinión de un experto para lograr determinar una especie, por otro lado, es importante mencionarlas por su aparición en la zona, ya que no es común que se preserven.

El organismo llamado Bolivina, que establecía una edad Maastrichtiana para la Formación El Abra en la porción centro-occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, fue analizada por la doctora Lourdes Omaña, quien menciona determinantemente que se trata de una Textularia o un organismo de esta familia, esto por la textura de la concha, ya que las Bolivinas secretan su cubierta y las textularías son parte de los organismos que hacen su cubierta a partir de su entorno, son de concha aglutinante, por esta razón se tomó otro organismo para indicar la edad, estos son los rudistas, documentados en la región con edad Cenomaniana, por Oviedo-García (2005). Otros fósiles que aportan una edad son algunos foraminíferos como los Peneroplis o las Nodosinellas, que tienen rangos del Cretácico superior.

La figura 80 muestra los organismos fósiles encontrados en el área de estudio y en las láminas delgadas realizadas para este trabajo, en ella se agrega a los rudistas como un indicador de edad en color verde y otros organismos que posicionan la edad de la formación en el Cretácico superior.

Pons et al. (2021). Reportan Eoradiolites liratus de una edad Turoniana en Llano las Hormigas, Villa Hidalgo S.L.P.

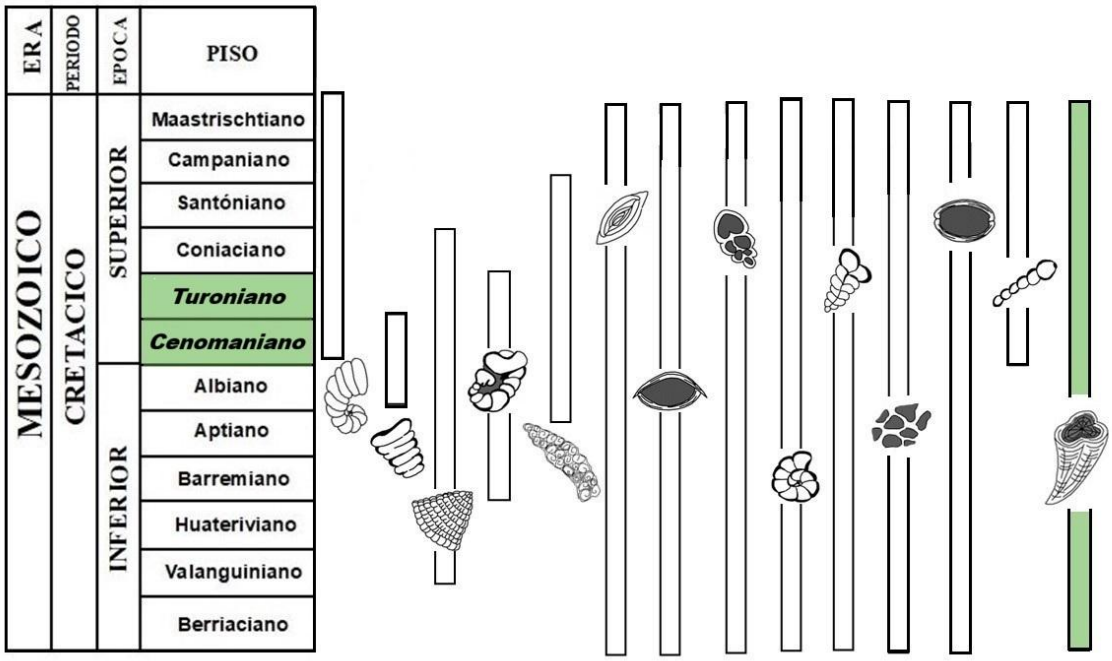


Figura 80-. Representación de las edades de los organismos fósiles en la localidad de la Tapona, Formación El Abra, modificado de Barboza-Treviño (2022).

Capítulo 3 Resultados analíticos de estudios estratigráficos, difracción de rayos x y microfaciales.

3.1 Difracción de rayos x

Los difractogramas para este trabajo fueron realizados con la finalidad de verificar el tipo de material en la zona de estudio, en tres perfiles estratigráficos diferentes, tomando en cuenta las características como el aspecto del material en campo, muestra de mano o polvo y la composición de este. Para de esta manera descartar que se trata de un material distinto y poder establecer que tiene un grado de consolidación diferente.

Las muestras enviadas al laboratorio del Instituto de Metalurgia de la UASLP fueron las siguientes, dos muestras de material blando con las claves LIC24-04P y la LIC24-18F, dos muestras del material denominado de cubierta con las siguientes claves LIC24-06P y LIC24-40F, además de tres de roca caliza, una por cada perfil, estas cuentan con las claves, LIC24-11P, LIC24-20M y LIC24-56F.

Las gráficas serán divididas en dos grupos de acuerdo con su contenido, en el primer grupo están las capas con clave LIC24-18F, LIC24-56F y la LIC24-20M, dichas muestras presentan únicamente contenido de calcita. El grupo dos está compuesto por las capas LIC24-40F, LIC24-04P, LIC24-06P, LIC24-11P con contenidos de Calcita y cuarzo.

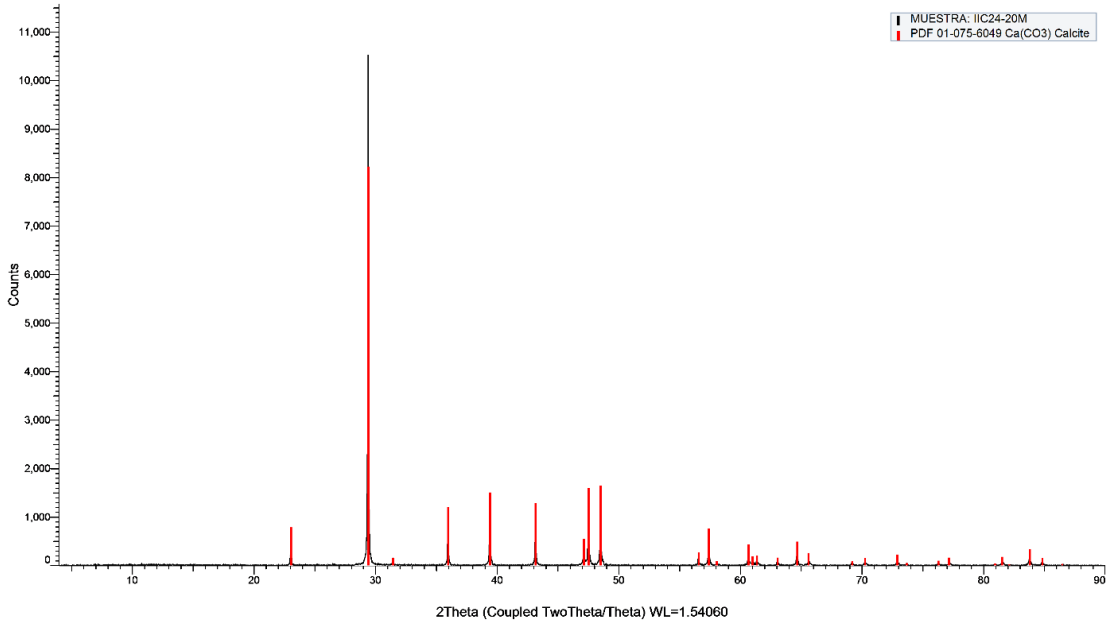


Figura 81-. Difractograma de rayos x para la capa LIC24-20M, perfil El Mulero.

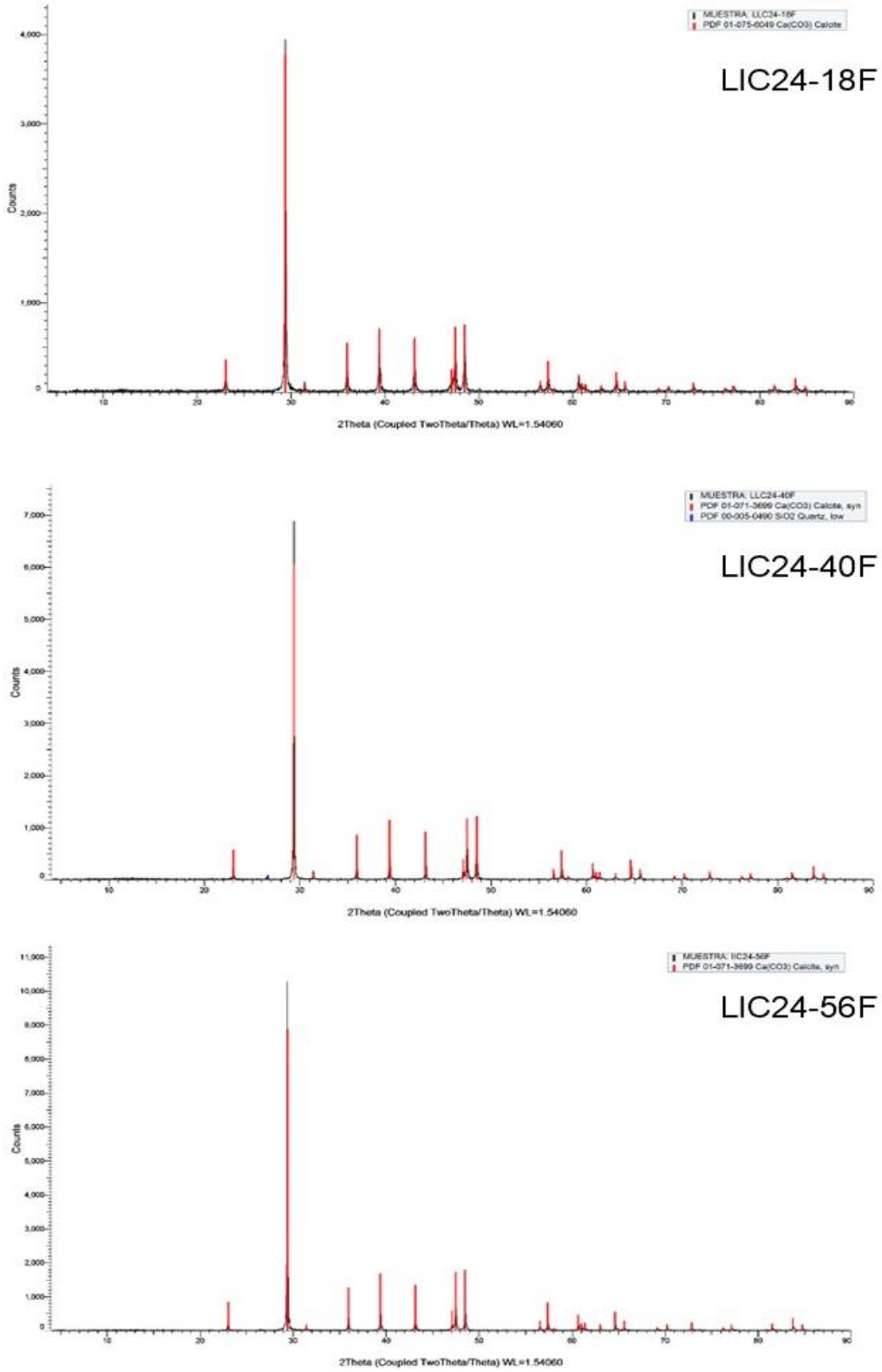


Figura 82-. Difractograma de rayos x para la capa LIC24-, perfil El Fénix.

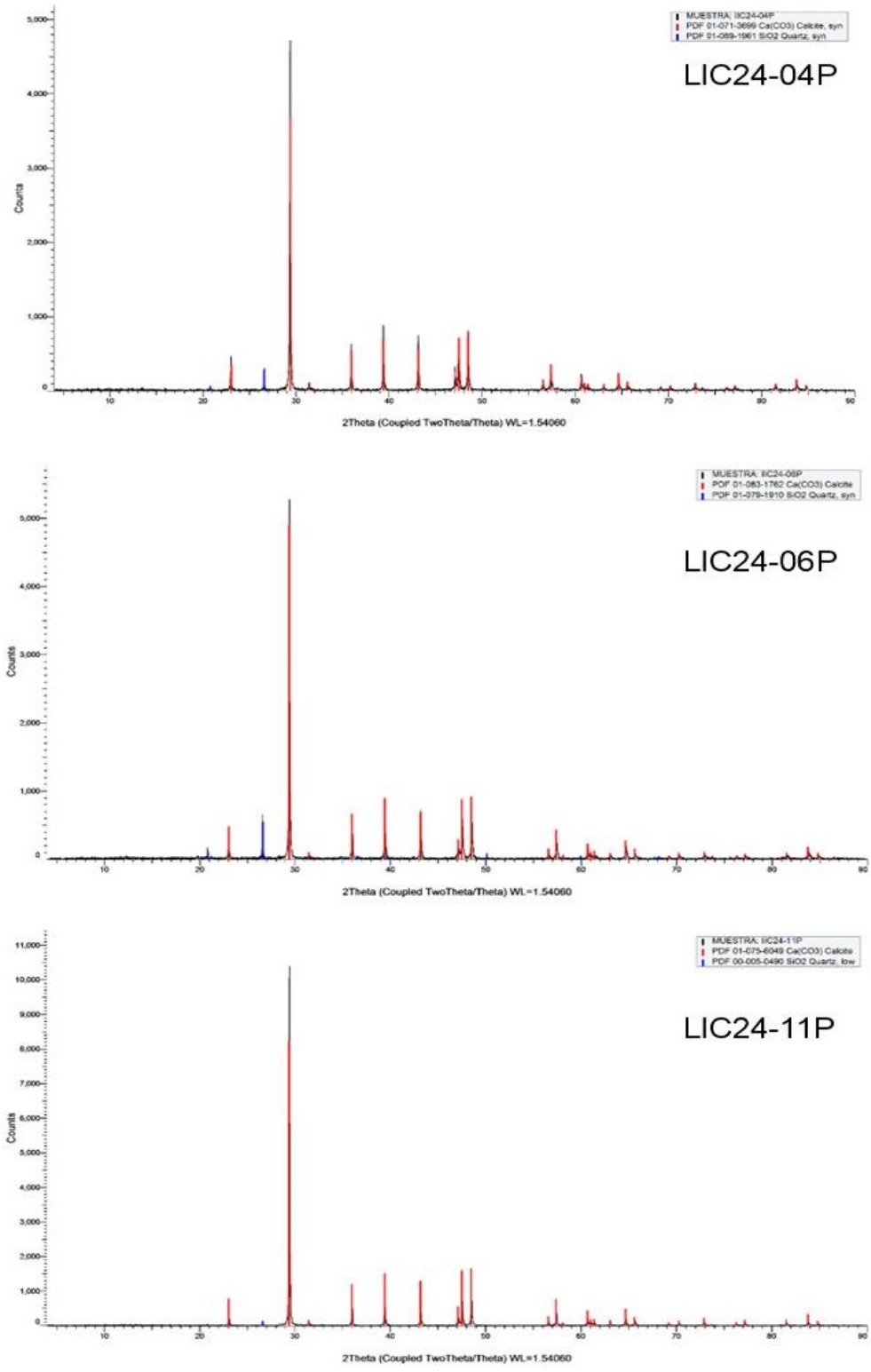


Figura 83-. Difractograma de rayos x para la capa LIC24-, perfil El Pedernal.

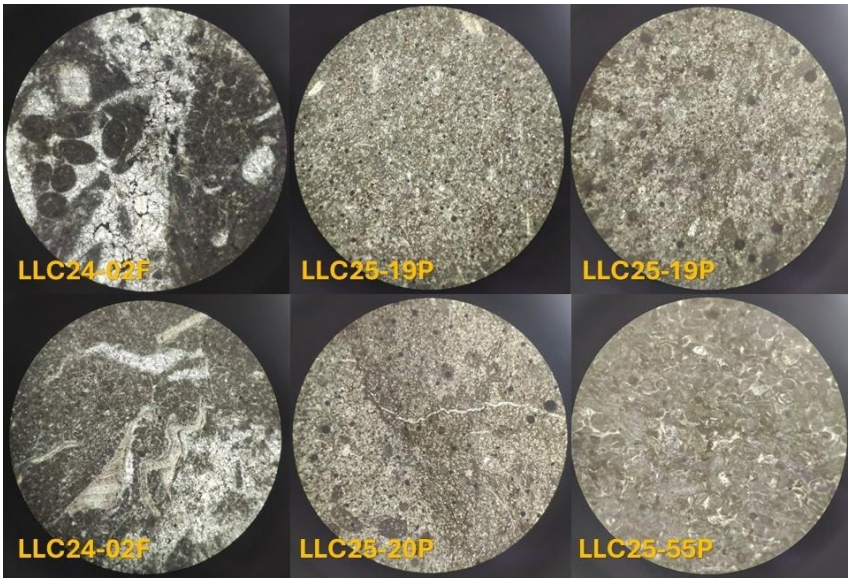
3.2 Descripción de láminas delgadas y cinturones de facies

La descripción de láminas delgadas para este trabajo se basó en el análisis microfacial para 125 láminas, las cuales fueron divididas en grupos de acuerdo con sus características destacables, para ubicarlas en una zona de facies especifica, las descripciones de estas laminas se encuentran en las tablas 9, 10 y 11 al final de este capítulo.

Para este apartado se analizaron algunos horizontes blandos del perfil Peña de Salazar, descrito por Barboza-Treviño (2022). Estas laminas delgadas llevan las siguientes claves para ser diferenciadas PS19Y01, PS19Y04, PS19Y06, PS19Y07, PS19Y09, la finalidad de su análisis es para determinar a que ZF y SMF pertenecen y de esta manera establecer un ambiente para estas capas.

Los grupos que se formaron considerando el análisis de ZF y SMF de 125 láminas delgadas, que pertenecen a cada una de las columnas medidas en la Tapona y cinco laminas que pertenecen al perfil Peña de Salazar, fueron los siguiente;

Talud
Se clasifica como un ZF (4) y SMF (4, 5, 6, 12 y 16).
Presente en rudstone, floastone, packestone y grainstone.
Esto hace referencia a que en las láminas delgadas que se encuentran en este grupo pueden presentar características de una zona en la que se puedan observar sedimentos de plataforma retrabajados y mezclados con sedimentos pelágicos, su tamaño de grano es variable, con abundancia fósil y podrían presentarse tambien slumps en pendientes de 5° a 90°.



Las láminas delgadas que pertenecen a esta zona son; LIC24-02F, LIC25-19P, LIC25-20P y LIC25-55P (Figura 84).

Figura 84-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Talud.

Arrecife

Se clasifica como un ZF (5) y SMF (7, 11, 12, 13 y 16).

Presente en wackestone, grainstone, rudestone, floastone, bindstone, framestone, bufflestone y framestone.

Este grupo se caracteriza por presentar calizas masivas, dolomías, son formadas solo por carbonatos, son de tonalidades claras y variables en tamaño. Se forman por crecimientos orgánicos de diversas especies a profundidades de unos cuantos metros.

Las láminas delgadas que pertenecen a esta zona son; LlC24-05F, LlC24-07F, LlC24-58F, LlC25-13P, LlC25-15P, LlC25-26P, LlC25-29P, LlC25-32P, LlC25-48P, LlC25-52P, LlC25-54P, LlC25-56P, LlC25-67P (Figura 85).

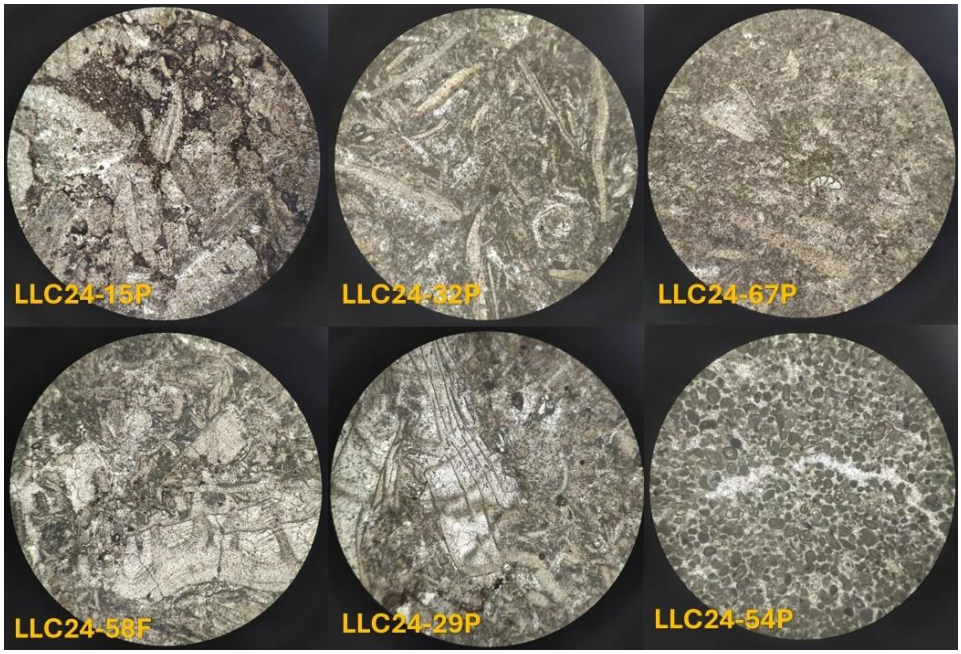


Figura 85-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Arrecife.

Tras arrecife

Se clasifica como un ZF (6) y SMF (11, 12, 13, 14 y 15).

Presente en grainstone, packestone y rudestone.

Hace referencia a una zona que puede presentar estratificación cruzada, en algunos casos con bioturbación, pero poca biodiversidad con organismos como bivalvos, gasterópodos foraminíferos y algas, además de arena bien redondeada y clasificada, ocasionalmente cuarzo, granos recubiertos, ooides y peloides.

Las láminas delgadas que pertenecen a esta zona son; LIC24-03F, LIC24-08F, LIC24-09F, LIC24-20F, LIC24-26F, LIC24-27F, LIC24-28F, LIC24-30F, LIC24-33F, LIC24-34F, LIC24-35F, LIC24-37F, LIC24-39F, LIC24-40F, LIC24-41F, LIC24-44F, LIC24-45F, LIC24-48F, LIC24-54F, LIC24-65F, LIC24-69F, LIC24-78F, LIC24-03M, LIC24-04M, LIC24-05M, LIC24-09M, LIC24-10M, LIC24-11M, LIC24-12M, LIC24-13M, LIC24-14M, LIC24-15M, LIC24-18M, LIC24-20M, LIC24-22M, LIC24-31M, LIC24-34M, LIC24-38M, LIC24-42M, LIC24-51M LIC24-06P, LIC24-11P, LIC25-17P, LIC25-22P, LIC25-23P, LIC25-24P, LIC25-25P, LIC25-27P, LIC25-31P, LIC25-33P, LIC25-40P, LIC25-41P, LIC25-42P, LIC25-49P, LIC25-51P, LIC25-57P, LIC25-63P (Figura 86).

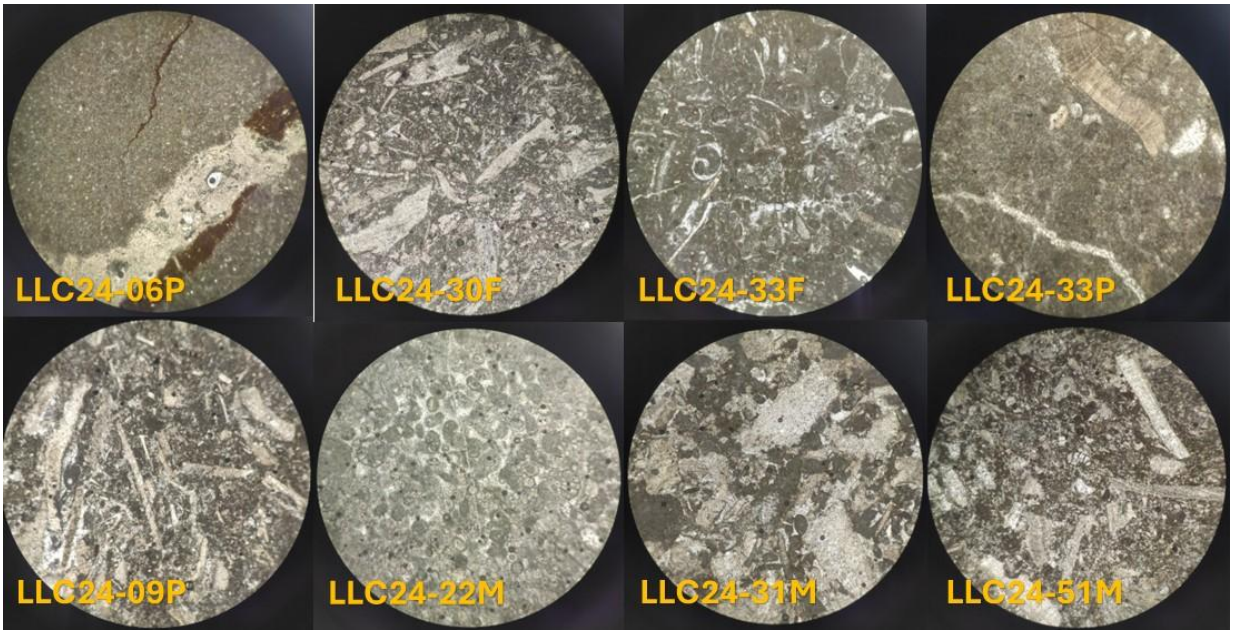


Figura 86-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Tras arrecife.

Plataforma abierta
Se clasifica como un ZF (7) y SMF (4, 5, 6, 12 y 16).
Presente en mudstone, wackestone, floastone, bindstone, grainstone, packestone, rudstone.
Este grupo refleja las siguientes características, el sedimento es limo, proviene de zonas con estratificación gruesa a media, se observan parches arrecifales pequeños, bancos fosilíferos, de organismos de agua somera, como algas, foraminíferos, bivalvos y gasterópodos. La profundidad es variable de pocos metros a decenas de metros, corresponden a una zona de islas de brechas o arrecife de zona de laguna, cuando está protegida por barreras de arena. Esta zona se conecta con mar abierto, mantiene la salinidad y una circulación moderada.

Las láminas delgadas que pertenecen a esta zona son; PS19Y04, PS19Y06, LIC24-10F, LIC24-11F, LIC24-15F, LIC24-22F, LIC24-23F, LIC24-36F, LIC24-38F, LIC24-67F, LIC24-84F, LIC24-06M, LIC24-16M, LIC24-25M, LIC24-07P, LIC24-09P, LIC25-28PINF, LIC25-30P, LIC25-34P, LIC25-37P, LIC25-45P, LIC25-59P (Figura 87).

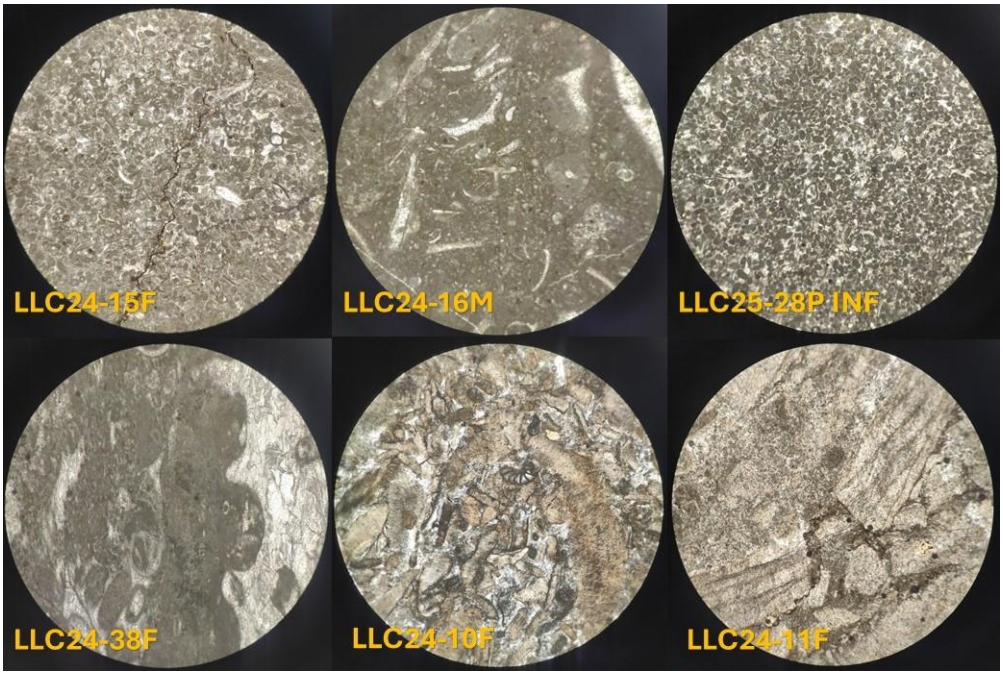


Figura 87-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Plataforma abierta.

Plataforma restringida

Se clasifica como un ZF (8) y SMF (4, 5, 6, 12 y 16).

Presente en mudstone, wackestone, packestone, grainstone, rudstone, floastone y bindstone.

Las láminas que entran en este grupo pueden contener brecha sedimentaria, dolomía, organismos de aguas someras con poca diversidad, pero con numerosos individuos. Encontrándose comúnmente foraminíferos, como *miliolidos*, además de otros organismos como ostrácodos, gasterópodos y algas, la vegetación es de agua dulce y marina. Rocas de tonalidad clara, se desarrollan en zona eufotica.

Las láminas delgadas que pertenecen a esta zona son; PS19Y07, PS19Y09, LIC24-01F, LIC24-12F, LIC24-13F, LIC24-17F, LIC25-19F, LIC24-24F, LIC24-25F, LIC24-29F, LIC24-32F, LIC24-36F, LIC24-39F, LIC24-42F, LIC24-46F, LIC24-49F, LIC24-50F, LIC24-51F, LIC24-52F, LIC24-56F, LIC24-81F, LIC24-01M, LIC24-02P, LIC25-28PSUP, LIC25-38P, LIC25-43P LIC25-61P (Figura 88).

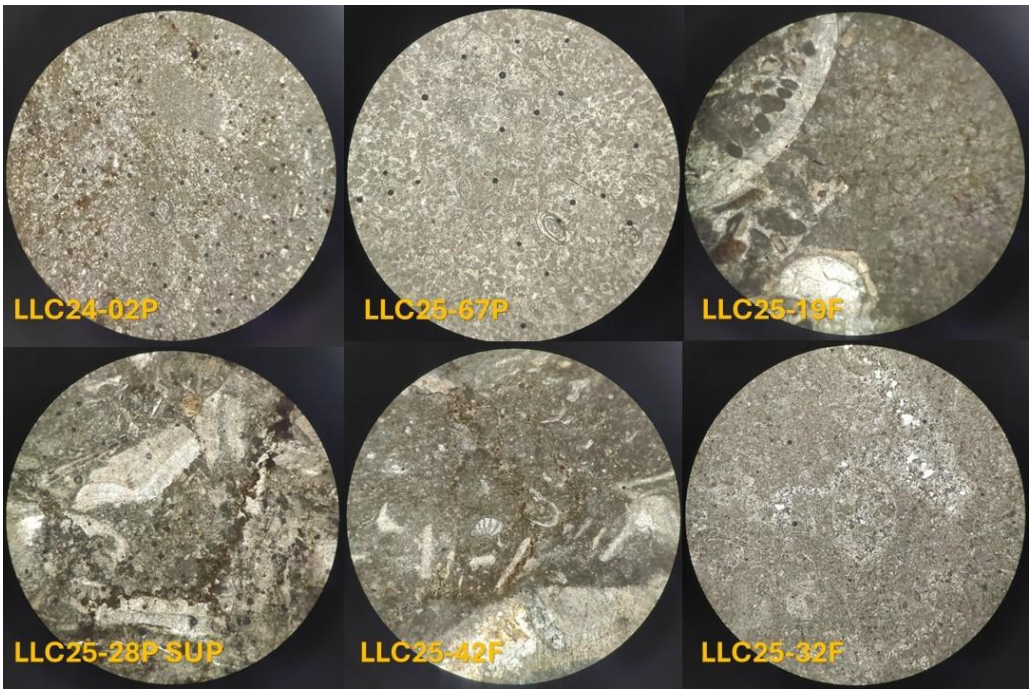


Figura 88-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Plataforma restringida.

Sabkha

Se clasifica como un ZF (9) Y SMF (15,16,19,20,21,23,25).

Presente en mudstone, bindstone

Las láminas que pertenecen a este grupo pueden presentar las siguientes características, Evaporitas Limolitas laminadas y mudstone dolomitizados, alternando con estratos de bindstone y capas de yeso y anhidrita, con estructura nodular y ondulada. Se desarrolla en la línea de costa en climas áridos, en ambientes de supramarea, sankhas, marismas. Organismos escasos adaptados a altas salinidades como; ostrácodos, moluscos y crustáceos.

Las láminas delgadas que pertenecen a esta zona son; LIC24-18F, LIC24-01P, LIC24-03P, LIC24-04P, LIC24-05P (Figura 89).

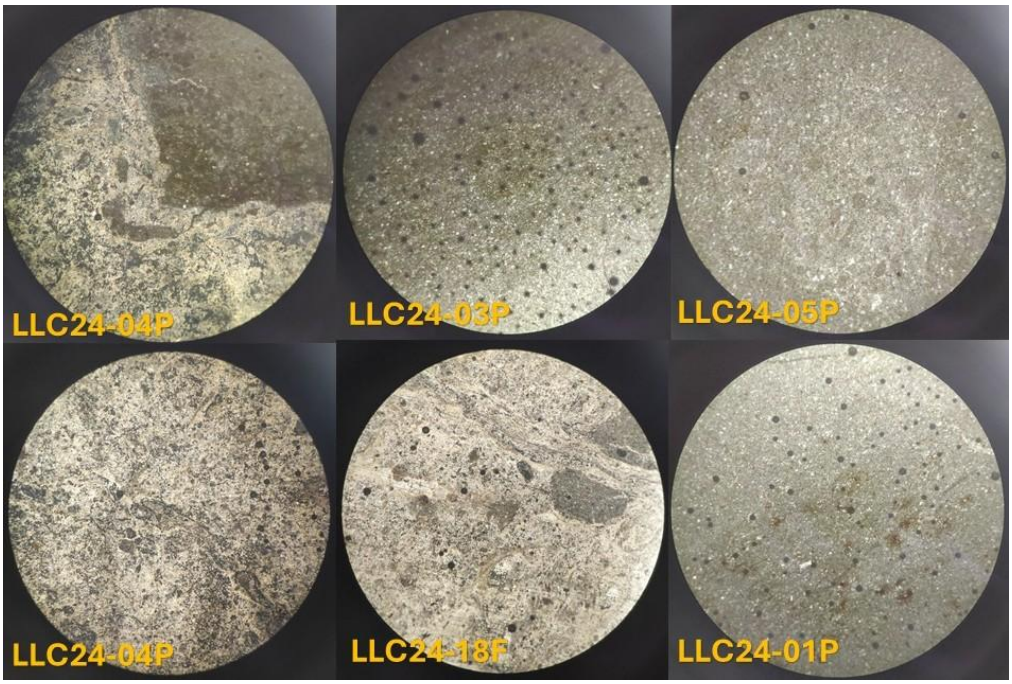


Figura 89-. Fotografías al microscopio del grupo que compone a la zona de Sabkha.

Los resultados generales para cinturones de facies SMF y ZF (Figura 90), en las tres columnas estratigráficas de la zona de llanos del Carmen dan como resultado secuencias que varían de manera contante en seis zonas del perfil de Wilson, en el caso de El Fénix y la columna de El Pedernal, se obtiene una evolución del nivel del mar con mayor rango en cuanto a las características de profundidad, por otra parte, la columna de El Mulero, evoluciona en tres zonas, lo que nos da un depósito más estable en cuanto a cambios del ambiente.

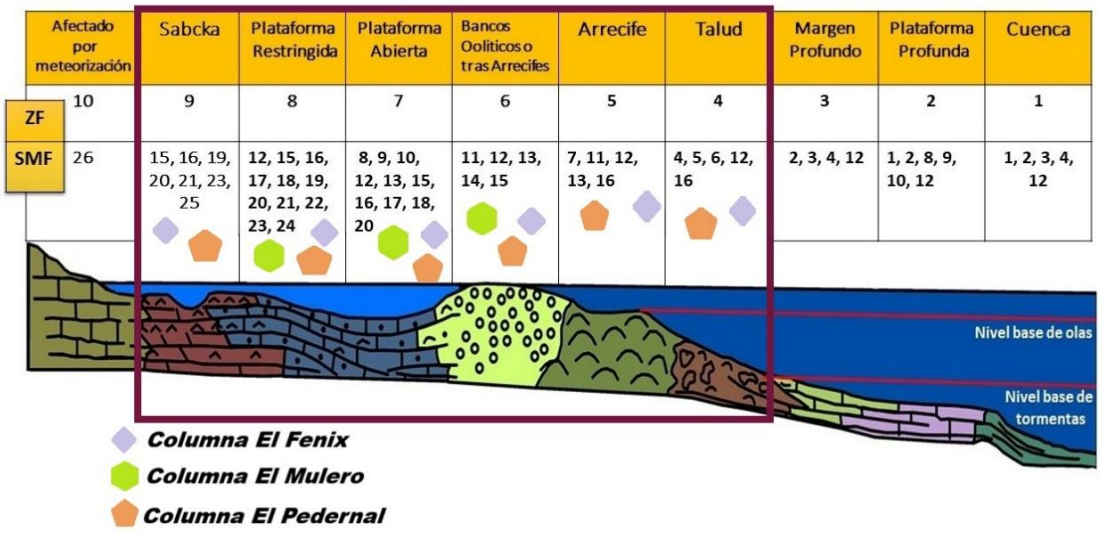


Figura 90-. Diagrama para SMF y ZF, modificado de Wilson (1975).

Los resultados para zonas de facies y SMF se presentan en cada una de las columnas descritas a continuación. Para El Fénix (Figuras 91, 92 y 93), tres casos en los que las variables en cuanto al depósito muestran cambió en las zonas de facies de Talud a Sabkha. Lo que refleja una etapa de depósitos que cambia constantemente en cuanto al ambiente o medio de desarrollo y deposito del material calcareo, sin embargo, conforme la secuencia evoluciona se llega a una etapa de mayor estabilidad en la que se restringen los resultados a menos zonas de facies llegando a estar en etapas del Tras arrecife a Plataforma restringida.

El Mulero (Figuras 94, 95 y 96), es una secuencia que muestra mayor tendencia a la estabilidad en cuanto a sus ambientes y zonas de facies, ya que sus SMF y ZF van únicamente del Tras arrecife a Plataforma profunda, El Mulero 1, figura 94 es un caso donde se aprecia una regresión marina de la base en un ambiente de Plataforma restringida, hasta la estabilidad en el ambiente de Tras arrecife, por otra parte, El Mulero 2, figura 95 cuenta con menos muestras para análisis, sin embargo, reflejan cambios en el ambiente mínimos en comparación con otras columnas en el área. Finalmente, El Mulero 3 presenta solamente características propias de una zona de tras arrecife.

El Pedernal (Figuras 97, 98 y 99), muestra una variación en cuanto a las zonas de facies que van desde el talud, hasta la zona de Sabkha, lo que refleja un periodo de cambios cíclicos de nivel del mar inestables y que varían incluso en cuanto a los alcances de las trasgresiones marinas.

El Pedernal 1 figura 97, inicia con una base en aguas someras, en la zona de Sabkha y gradualmente la evolución cambia a zonas profundas, hasta llegar al Talud, para posteriormente en El Pedernal 2 figura 98, mostrar una regresión marina clara del Arrecife a la Plataforma profunda, intercalando momentos en los que las condiciones de depósito fueron cambiantes entre ambientes someros y profundos, cambios extremos, pero no de manera brusca, más bien cambios graduales, sin etapas duraderas en un solo ambiente.

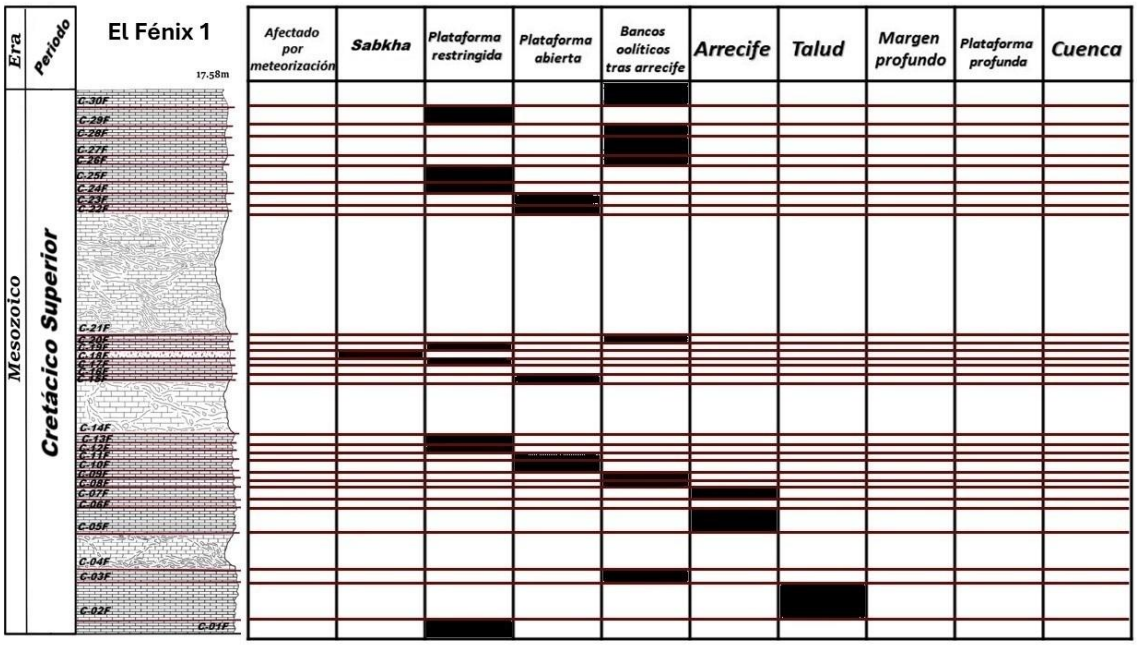


Figura 91-. Columna el Fénix 1 para resultados de zona de facies.

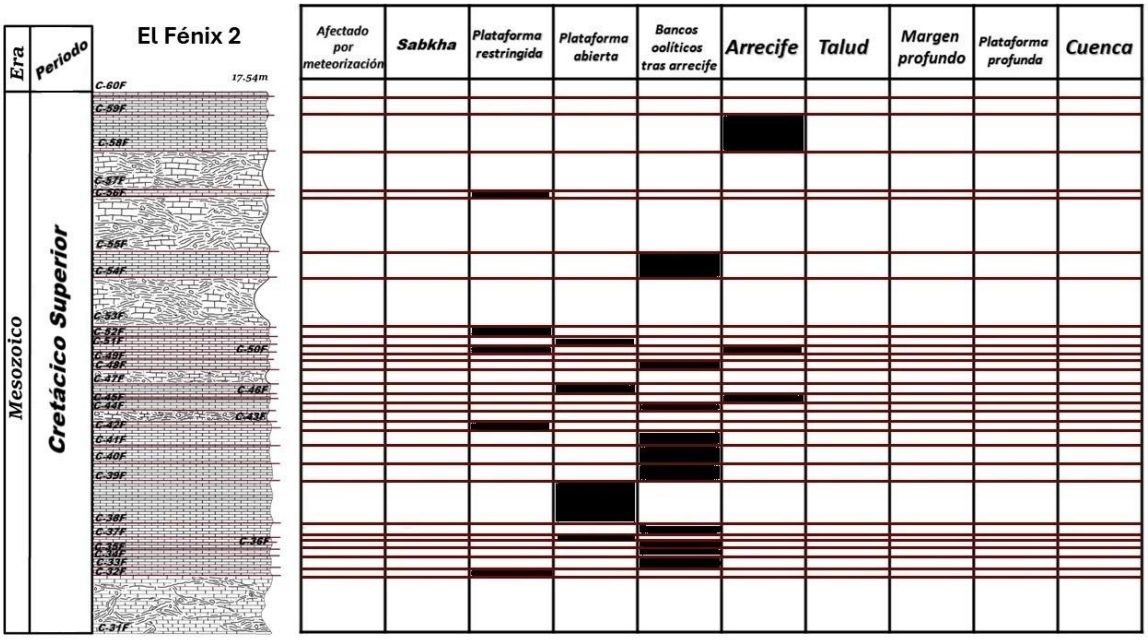


Figura 92-. Columna el Fénix 2 para resultados de zona de facies.

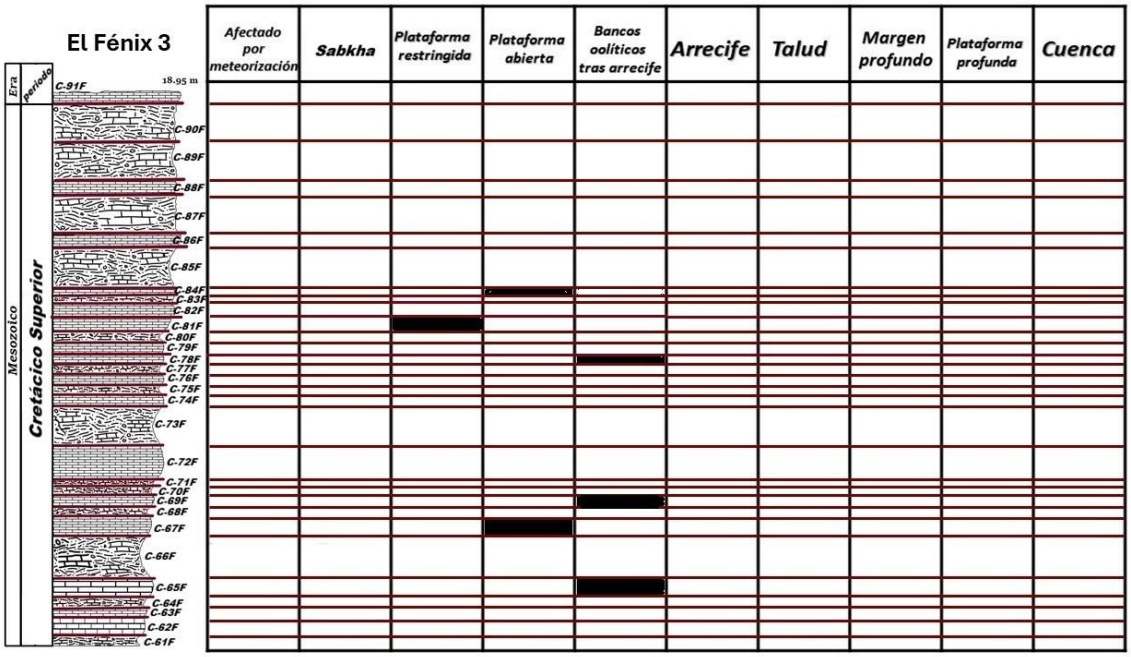


Figura 93-. Columna El Fénix 3 para resultados de zona de facies.

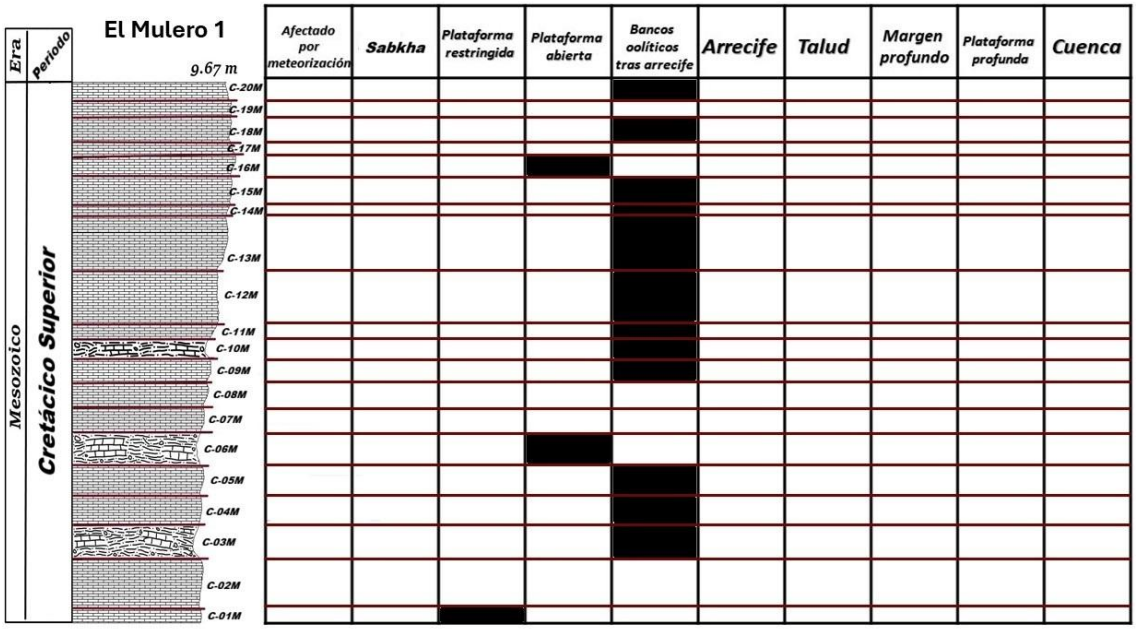


Figura 94-. Columna El Mulero 1 para resultados de zona de facies.

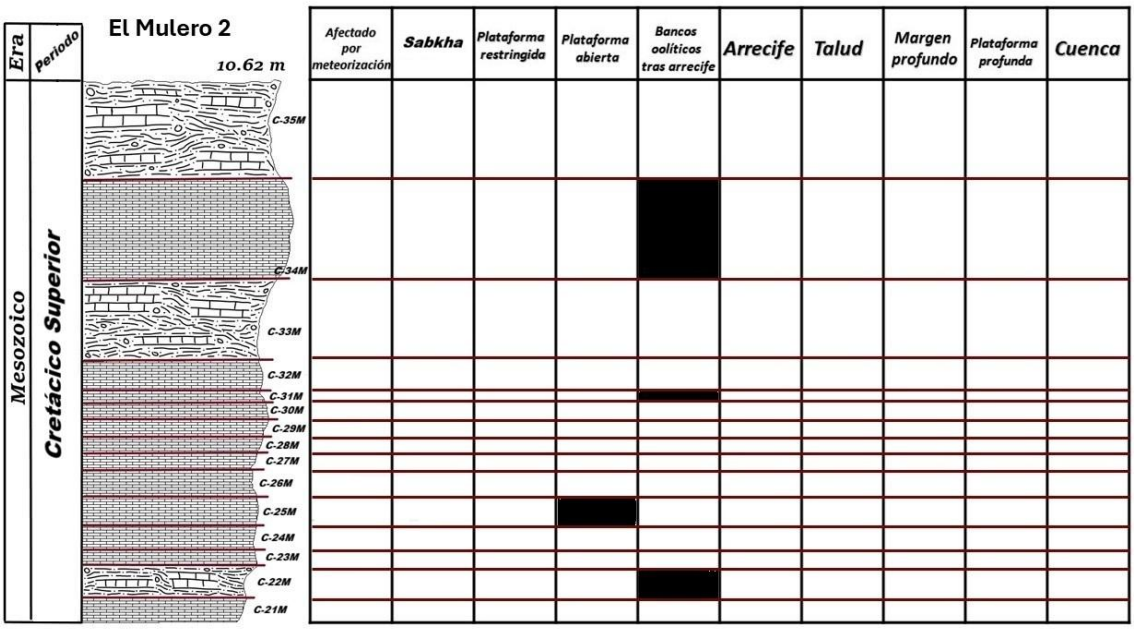


Figura 95-. Columna El Mulero 2 para resultados de zona de facies.

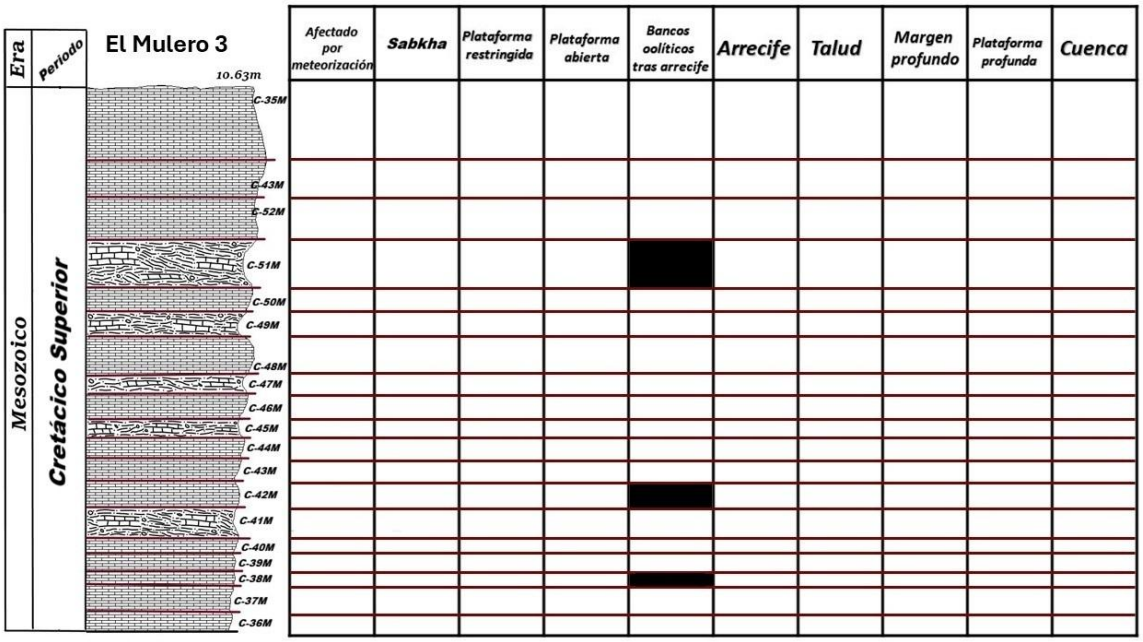


Figura 96-. Columna El Mulero 3 para resultados de zona de facies.

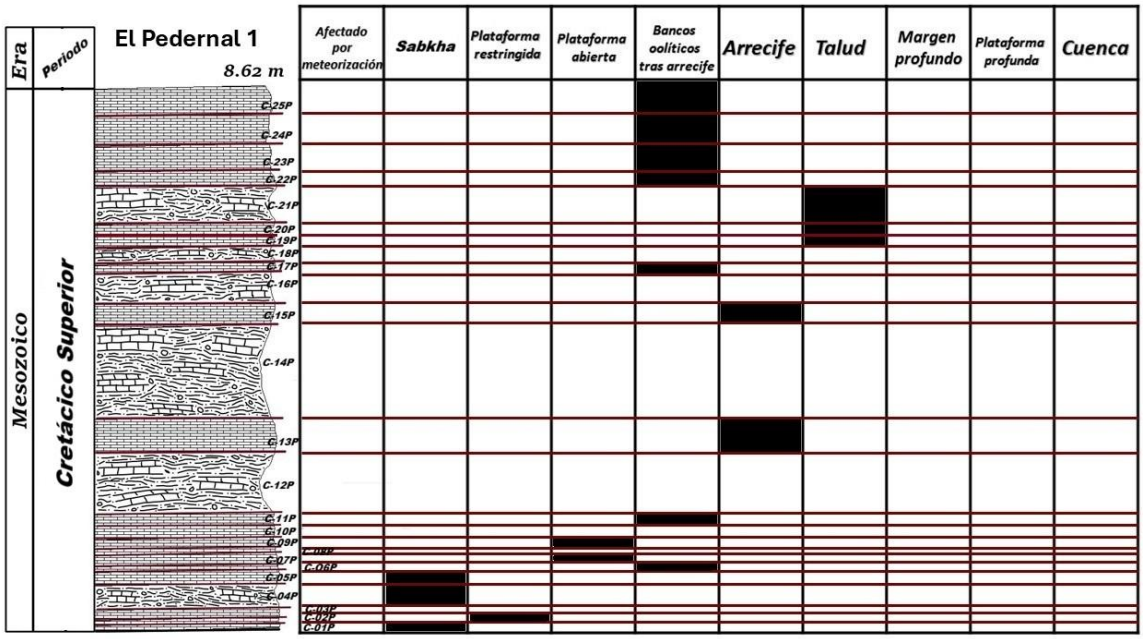


Figura 97-. Columna El Pedernal 1 para resultados de zona de facies.

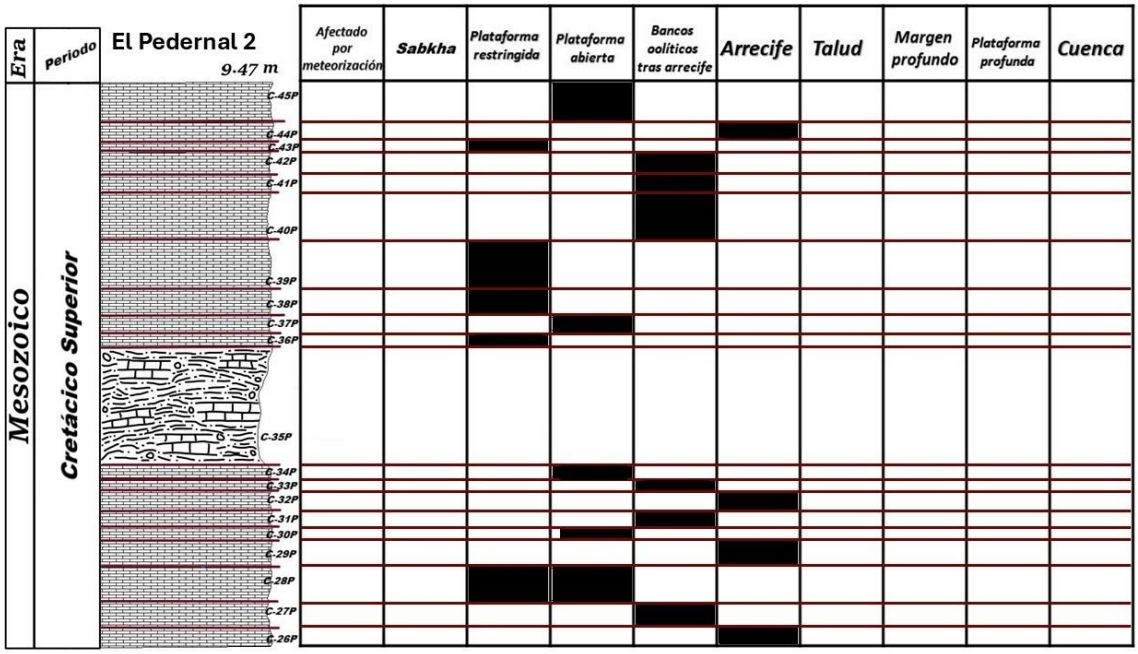


Figura 98-. Columna El Pedernal 2 para resultados de zona de facies.

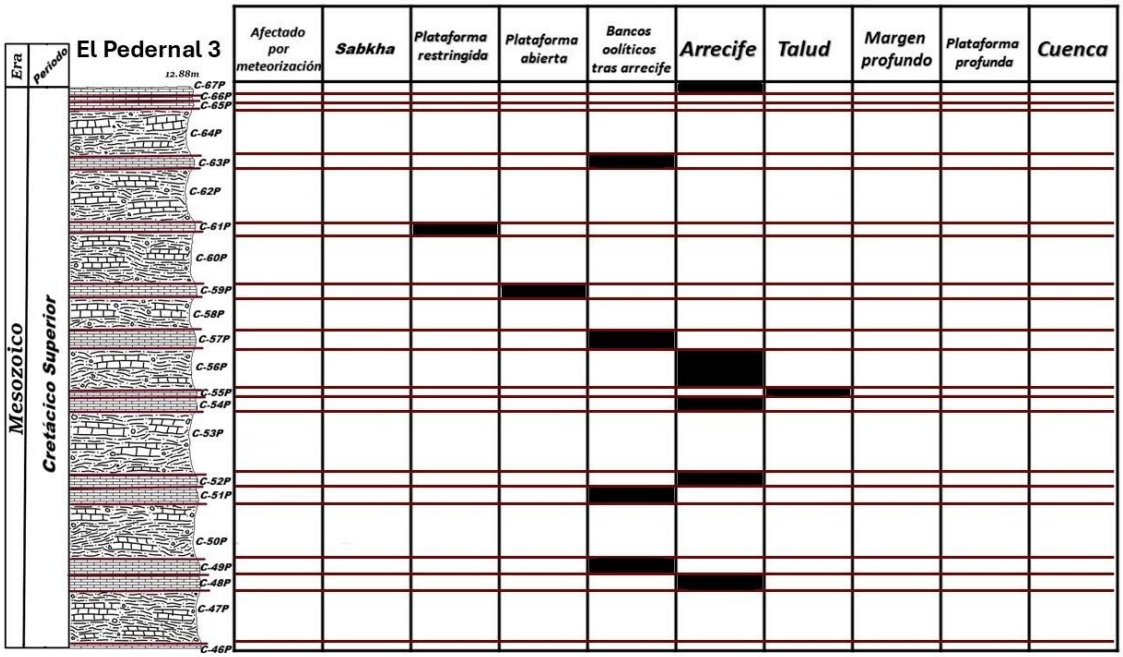


Figura 99-. Columna El Pedernal 3 para resultados de zona de facie

Clave	Masa Basica	Componentes	Clasificacion	Observaciones	Ambiente
PS19-Y01	Micrita 80% Esparita 10% (A Menos)	Bioclastos mayores a 2 mm 10%	Wackeston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Muestra de horizonte blando, sin precencia de microfosiles y en algunos puntos se obserba oxidacion.	Tras arrecife
PS19-Y04	Micrita 70% Esparita 10%	Bioclastos y cristales de calcita 20%	Wackeston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floatstone (Embry y Klovan).	Fractura sin relleno, fosiles completos de foraminiferos, muestra de horizonte blando	Plataforma abierta
PS19-Y06	Micrita 90% Esparita 1%	Bioclastos mayores a 2mm y cristales de calcita 9%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Fracturas rellenas de calcita, fosiles completos de foraminiferos, muestra de horizonte blando.	Plataforma abierta
PS19-Y07	Micrita 90% Esparita 1%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 9%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floatstone (Embry y Klovan).	Muestra de horizonte blando	Plataforma abierta
PS19-Y09	Micrita 90% Esparita 1%	Bioclastos 9%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floatstone (Embry y Klovan).	Muestra de horizonte blando, foraminiferos en fragmentos y fractura con oxidacion.	Plataforma abierta
LIC24-01F	Esparita 40% Micrita 55%	Bioclastos mayores a 2mm y calcita en cristales 5%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Flamestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion y otras con cristales de calcita, ademas calcita en grupos o nucleos.	Plataforma restringida
LIC24-02F	Micrita 75% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2mm y cristales de Calcita 15%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Fractura con de oxidacion, con precencia de pellets.	Talud
LIC24-03F LIC24-03.1F	Micrita 80% Esparita 5%	Bioclastos mayores a 2mm 20%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-05F	Micrita 0% Esparita 70%	Bioclastos mayores a 2mm y cristales de calcita 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion y cristales de calcita en grupos, los bioclastos son de Rudistas.	Arrecife
LIC24-07F	Esparita 80% Micrita 1%	Bioclastos mayores a 2mm 19%	Grainstone(Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Sin abundancia de microfosiles.	Arrecife
LIC24-08F	Micrita 40% Esparita 35%	Bioclastos mayores a 2mm 25%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Precencia de foraminiferos, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-09F	Micrita 55% Esparita 5%	Bioclastos mayores a 2mm 40%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Se observa oxidación en algunos puntos, saturación de bioclastos de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-10F	Esparita 40% Micrita 20%	Bioclastos mayores a 2mm 40%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Los bioclastos son de Rudistas	Plataforma abierta
LIC24-11F	Micrita 45% Esparita 25%	Bioclastos mayores y menores a 2mm 30%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas sin relleno, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta
LIC24-12F	Micrita 50% Esparita 10%	Bioclastos menores a 2mm 40%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Los bioclastos son de Rudistas	Plataforma restringida
LIC24-13F	Micrita 40% Esparita 20%	Bioclastos mayores a 2mm y cristales de calcita 40%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación, grupos de cristales con calcita y fracturas con calcita los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma restringida
LIC24-15F	Micrita 55% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2mm y relleno de esparita 35%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y cristales de calcita en nucleos aislados, bioclastos sin identificar.	Plataforma abierta
LIC24-17F	Micrita 60% Esparita 15%	Bioclastos y cristales de calcita 25%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y cristales de calcita en nucleos.	Plataforma restringida
LIC24-18F	Esparita 0% Micrita 100%	0% sin componentes	Mudstone (Dunham), Micrita (Folk).	Se trata de una matriz homogenia, sin fosiles o cristales.	Sabkab
LIC24-19F	Micrita 75% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 15%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con calcita, pellets, los bioclastos son de Rudistas y de corales, ademas la muestra se divide en dos zonas, diferenciadas por dencidad del material.	Plataforma restringida
LIC24-20F	Micrita 10% Esparita 50%	Bioclastos mayores a 2 mm 40%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Algo de oxidación en algunas zonas, fractura, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-22F	Esparita 00% Micrita 00%	Bioclastos mayores a 2mm y cristales de calcita 00%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura, estilolitas, cristales de calcita, los bioclastos no identificados.	Plataforma abierta
LIC24-23F	Micrita 10% Esparita 55%	Bioclastos mayores a 2 mm 35%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Algo de oxidación en algunas zonas, fractura, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta
LIC24-24F	Esparita 80% Micrita 0%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Algo de oxidación y fractura, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma restringida
LIC24-25F	Esparita 90% Micrita 0%	Bioclastos mayores a 2 mm 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Algo de oxidación y fractura, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma restringida
LIC24-26F	esparita 70% Micrita 20%	Bioclastos mayores a 2 mm 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Algo de oxidación y fractura, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-27F	Micrita 50% Esparita 30%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Packstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura y zonas con calcita en grupos, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-28F	Esparita 50% Micrita 0%	Bioclastos mayores a 2mm 50%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Precencia de pellets, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-29F	Micrita 90% Esparita 5%	Bioclastos menores a 2 mm y cristales de calcita 5%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura, facturas con calcita, pellets, fosiles casi nulos.	Plataforma restringida
LIC24-30F	Micrita 50% Esparita 40%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Poca oxidación y sin fractura.	Tras arrecife
LIC24-32F	Micrita 70% Esparita 25%	Bioclastos mayores a 2 mm 5%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Los bioclastos son de Rudistas, recristalizacion.	Plataforma restringida
LIC24-33F	Micrita 50% Esparita 40%	Bioclastos y cristales de calcita 10%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de calcita.	Tras arrecife
LIC24-34F	Micrita 60% Esparita 30%	Bioclastos mayores a 2 mm 10%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Los bioclastos son de Rudistas	Tras arrecife
LIC24-35F	Esparita 00% Micrita 00%	Bioclastos mayores y menores a 2mm 00%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y fractura sin oxidación, estilolitas, los bioclastos son de Rudistas .	Tras arrecife
LIC24-36F	Esparitaa 20% Micrita 60%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas sin relleno y fracturas con relleno de calcita, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta
LIC24-37F	Micrita 65% Esparita 20%	Bioclastos y cristales de calcita 15%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación, estilolitas, los bioclastos son de Rudistas, vetillas de calcita, calcioesferas y pellets.	Tras arrecife
LIC24-38F	Micrita 70% Esparita 20%	Bioclastos y cristales de calcita 10%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y zonas con oxidación, vetillas de calcita, pellets, los bioclastos son de Rudistas y gasteropodos.	Plataforma abierta
LIC24-39F	Esparita 70% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Estilolitas, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-40F	Esparita 80% Micrita 0%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura, oxidacion, los bioclastos son de Rudistas, cementerio fosil.	Tras arrecife
LIC24-41F	Micrita 40% Esparita 20%	Bioclastos 40%	Packstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Con oxidación, calcioesferas, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-42F	Micrita 60% Esparita 20%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación, zonas con oxidación y estilolitas, los bioclastos sin identificar.	Plataforma restringida
LIC24-44F	Esparita 60% micrita 10%	Bioclastos 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Estilolitas con oxidación.	Arrecife
LIC24-45F	Esparita 50% Micrita 20%	Bioclastos y cristales de calcita 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Fractura con calcita y calcita en grupos, estilolitas, calcioesferas, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta
LIC24-46F	Micrita 60% Esparita 20%	Fósiles y cristales de calcita 20%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita, nucleos de cristales de calcita, parece un cementerio de microfósiles.	Plataforma abierta
LIC24-48F	Esparita 70% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-49F	Micrita 50% Esparita 30%	Bioclastos mayores y menores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita, bioclastos sin identificar.	Arrecife
LIC24-50F	Micrita 10% Esparita 50%	Bioclastos mayores a 2 mm 40%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Zonas con oxidación y estilolitas, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma restringida
LIC24-51F	Micrita 50% Esparita 40%	Bioclastos mayores a 2 mm 10%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura, oxidación, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta
LIC24-52F	Micrita 40% Esparita 30%	Bioclastos y cristales de calcita 30%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación, cristales de calcita, los bioclastos sin identificar.	Plataforma restringida
LIC24-54F	Esparita 50% Micrita 20%	Fósiles 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Con fractura.	tras arrecife
LIC24-56F	Esparita 30% Micrita 35%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 35%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Fractura con oxidación, estilolitas, los bioclastos son de Rudistas y cristales de calcita.	Plataforma restringida
LIC24-58F	Micrita 20% Esparita 50%	Bioclastos mayores a 2 mm 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Fractura con oxidación y estilolitas, los bioclastos son de Rudistas.	Arrecife
LIC24-65F	Micrita 30% Esparita 50%	Cristales de calcita 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Vetillas rellenas de calcita y zonas con oxidación, pellets.	Tras arrecife
LIC24-67F	Micrita 50% Esparita 30%	Bioclastos mayores a 2 mm y calcita 20%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación y vetillas de calcita, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma restringida
LIC24-69F	Esparita 70% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura, oxidacion, calcita en zonas los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-78F	Micrita 20% Esparita 40%	Bioclastos mayores a 2 mm 40%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan)	Con oxidación, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-81F	Micrita 40% Esparita 30%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fracturas con calcita y estilolitas con oxidación, pellets, los bioclastos son de Rudistas y de corales, ademas la muestra se divide en dos zonas, diferenciadas por dencidad del material.	Plataforma restringida
LIC24-84F	Micrita 30% Esparita 50%	Bioclastos mayores a 2 mm 20%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Floatstone (Embry y Klovan).	Contiene pellets, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta.

Tabla 9-. Datos de láminas delgadas para características de capas de la columna El Fénix.

Clave	Masa Basica	Componentes	Clasificacion	Observaciones	Ambiente
LIC24-01M	Micrita 55% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 35%	Packston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floastone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita y calcioesferas.	Plataforma restringida
LIC24-03M	Micrita 10% Esparita 60%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Con oxidacion, pellets, cristales de calcita en grupos, los bioclastos son de rudistas.	Tras arrecife
LIC24-04M	Micrita 1% Esparita 90%	Bioclastos menores a 2 mm y cristales de calcita 9%	Grainston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion y otras con calcita, ademas calcita en grupos,los bioclastos son de rudistas.	Tras arrecife
LIC24-05M	Micrita 0% Esparita 70%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con calcita, los bioclastos son de rudistas.	Tras arrecife
LIC24-06M	Micrita 70% Esparita 10%	Bioclastos menores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Packston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación y vetillas de calcita, ademas cristales de calcita en grupos, los bioclastos son de Rudistas.	Plataforma abierta
LIC24-09M	Esparita 70% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Wackston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Fractura y vetillas rellenas de calcita, pellets, los bioclastos son de rudistas. .	Tras arrecife
LIC24-10M	Micrita 10% Esparita 70%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Packston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación y vetillas de calcita, cristales de calcita en grupos, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-11M	Micrita 01% Esparita 80%	Bioclastos mayores a 2 mm 9%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación y vetillas de calcita, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-12M	Micrita 01% Esparita 80%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion y otras con cristales de calcita, ademas calcita en grupos o nucleos.	Tras arrecife
LIC24-13M	Esparita 80% Micrita 1%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Grainston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación y vetillas de calcita, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-14M	Micrita 40% Esparita 35%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Wackston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).		Tras arrecife
LIC24-15M	Micrita 55% Esparita 5%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Wackston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Se observa oxidación en algunos puntos, saturación de fragmentos fósiles.	Tras arrecife
LIC24-16M	Esparita 40% Micrita 20%	Cristales de calcita 40%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Floatstone (Embry y Klovan).	Fracturas con oxidacion, vetillas rellenas de calcita.	Plataforma abierta
LIC24-18M	Micrita 45% Esparita 25%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Grainston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Estilolitas con oxidación y vetillas de calcita, los bioclastos son de Rudistas.	Tras arrecife
LIC24-20M	Micrita 50% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm 40%	Packston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	No se observan microfosiles.	Tras arrecife
LIC24-22M	Micrita 40% Esparita 20%	Cristales de calcita 40%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de oxidación, ademas de nucleos de cristales calcita y fracturas con calcita.	Tras arrecife
LIC24-25M	Micrita 55% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 35%	Wackston (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floatstone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion y otras con cristales de calcita, ademas calcita en grupos o nucleos.	Plataforma abierta
LIC24-31M	Micrita 60% Esparita 15%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y cristales de calcita en nucleos.	Tras arrecife
LIC24-34M	Micrita 10% Esparita 80%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion, presenta pellets y pocos fosiles.	Tras arrecife
LIC24-38M	Micrita 75% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm 15%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita.	Tras arrecife
LIC24-42M	Micrita 10% Esparita 50%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 40%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Poca oxidación en algunas zonas y fractura sin relleno.	Tras arrecife
LIC24-51M	Micrita 10% Esparita 55%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 35%	Wackston (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Poca oxidación en algunas zonas y fractura sin relleno.	Tras arrecife

Tabla 10-. Datos de láminas delgadas para características de capas de la columna El Mulero.

Clave	Masa Basica	Componentes	Clasificacion	Observaciones	Ambiente
LIC24-01P	Micrita 80% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Presenta fractura, calcioesferas y un cambio de densidad en cuanto a materiales calcareos.	Sabkab
LIC24-02P	Micrita 70% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Wackestone (Dunham), Biomicrita/ Dismicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura sin relleno, organismos completos, muestra de horizonte blando.	Plataforma restringida
LIC24-03P	Micrita 90% Esparita 1%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 9%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas rellenas de calcita, muestra de horizonte blando.	Sabkab
LIC24-04P	Micrita 90% Esparita 1%	Cristales de calcita 9%	Mudstone (Dunham), Micrita (Folk).	Calcita en cristales, sin fosiles.	Sabkab
LIC24-05P	Micrita 90% Esparita 1%	Bioclastos 9%	Mudstone (Dunham), Dismicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Muestra de horizonte blando	Sabkab
LIC24-06P	Esparita 40% Micrita 55%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 5%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas rellenas de oxidacion y cristales de calcita, además cristales de calcita en grupos aislados	Tras arrecife
LIC24-07P	Micrita 75% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 15%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fracturas rellenas de oxidacion.	Plataforma abierta
LIC24-09P	Micrita 80% Esparita 5%	Bioclastos 15%	Mudstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floastone (Embry y Klovan).	Fracturas con oxidacion, calcioesferas, vetas con calcita.	Plataforma abierta
LIC24-11P	Micrita 40% Esparita 0%	Bioclastos mayores a 2 mm 60%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas con oxidacion, calcioesferas, matriz de grano fino.	Tras arrecife
LIC25-13P	Esparita 80% Micrita 1%	Bioclastos mayores y menores a 2 mm y cristales de calcita 19%	Grainestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Poca fractura	Arrecife
LIC25-15P	Micrita 40% Esparita 35%	Bioclastos mayores y menores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Grainstone (Dunham), Biomicrita/ Dismicrita (Folk) y Budstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de calcita, con oxidacion	Arrecife
LIC25-17P	Micrita 55% Esparita 5%	Bioclastos 40%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Se observa oxidación en algunos puntos, saturación de fragmentos fósiles.	Tras arrecife
LIC25-19P	Esparita 70% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	fractura con oxidacion, estilolitas y cristales de calcita.	Talud
LIC25-20P	Micrita 0% Esparita 90%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fracturas sin relleno, pellets, oxidacion, zonas con grano muy fino y cristales de calcita.	Talud
LIC25-22P	Micrita 0% Esparita 70%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Floastone (Embry y Klovan).	Poca fractura, calcioesferas, pellets, matriz de grano muy fino.	Tras arrecife
LIC25-23P	Micrita 20% Esparita 20%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 60%	Packestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de oxidación, ademas de nucleos de cristales calcita y fracturas con calcita.	Tras arrecife
LIC25-24P	Micrita 55% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y relleno de esparita 35%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y cristales de calcita en nucleos aislados.	Tras arrecife
LIC25-25P	Micrita 60% Esparita 15%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y cristales de calcita en nucleos.	Tras arrecife
LIC25-26P	Esparita 80% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	poca fractura, estilolitas, con oxidacion, pellets y cristales de calcita.	Arrecife
LIC25-27P	Micrita 75% Esparita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 15%	Packstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita y poca oxidacion.	Tras arrecife
LIC25-28P Sup.	Micrita 10% Esparita 50%	Bioclastos 40%	Packstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Poca oxidación en algunas zonas y fractura sin relleno.	Plataforma restringida
LIC25-28P Inf.	Esparita 20% Micrita 35%	Bioclastos mayores a 2 mm 50%	Packstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Poca fractura con algo de oxidacion y calcita en cristales aislados, estilolitas y micrita en clastos.	Plataforma abierta
LIC25-29P	Micrita 10% Esparita 55%	Bioclastos 35%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Poca oxidación en algunas zonas, cristales de calcita en grupos, calcioesferas y fractura sin relleno.	Arrecife
LIC25-30P	Esparita 01% Micrita 60%	Bioclastos 39%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Cristales de calcita.	Plataforma abierta
LIC25-31P	Esparita 60% Micrita 10%	Bioclastos 30%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Poca fractura, poca oxidación, matriz de grano fino y estilolitas.	Tras arrecife
LIC25-32P	Esparita 70% Micrita 20%	Bioclastos 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Poca fractura sin relleno, estilolitas.	Arrecife
LIC25-33P	Micrita 50% Esparita 30%	Bioclastos 20%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Poca fractura y zonas con abundancia de calcita.	Tras arrecife
LIC25-34P	Esparita 00% Micrita 60%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Packestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Poca fractura con oxidación, ademas de cristales de calcita.	Plataforma abierta
LIC25-36P	Micrita 90% Esparita 5%	Fósiles y cristales de calcita 5%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas rellenas de calcita y fracturas sin relleno.	Plataforma restringida
LIC25-37P	Micrita 50% Esparita 40%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Poca oxidación y sin fractura.	Plataforma abierta
LIC25-38P	Micrita 70% Esparita 25%	Bioclastos 5%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Boundstone (Embry y Klovan).	fracturas rellenas de oxidacion y cristales de calcita en vetas y pellets	Plataforma restringida
LIC25-39P	Micrita 50% Esparita 40%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de calcita.	Plataforma restringida
LIC25-40P	Micrita 60% Esparita 30%	Bioclastos 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion y cristales de calcita, estilolitas, calcio esferas y pellets.	Tras arrecife
LIC25-41P	Esparita 50% Micrita 25%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Boundstone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación y fractura sin oxidación.	Tras arrecife
LIC25-42P	Esparita 20% Micrita 60%	Bioclastos 20%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Boundstone (Embry y Klovan).	Fracturas sin relleno y fracturas con relleno de calcita.	Tras arrecife
LIC25-43P	Micrita 65% Esparita 20%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 15%	Wackestone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Budstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena con oxidación.	Plataforma restringida
LIC25-44P	Micrita 70% Esparita 20%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 10%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura rellena con oxidación y zonas con oxidación, vetillas rellenas de calcita.	Arrecife
LIC25-45P	Esparita 70% Micrita 10%	Bioclastos 20%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fracturas con forma estilolitica.	Plataforma abierta
LIC25-48P	Esparita 60% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Fracturas con oxidacion y calcita, cristales de calcita en grupos	Arrecife
LIC25-49P	Micrita 0% Esparita 20%	Bioclastos 80%	Packstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Presenta oxidación.	Tras arrecife
LIC25-51P	Micrita 60% Esparita 20%	Bioclastos 20%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Boundstone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidación, zonas aisladas con oxidación y fracturas con forma estilolitica.	Tras arrecife
LIC25-52P	Esparita 60% micrita 10%	Bioclastos 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura de forma estilolitica conn oxidación.	Arrecife
LIC25-54P	Esparita 70% Micrita 0%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 30%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de calcita y nucleos con cristales de calcita.	Arrecife
LIC25-55P	Micrita 10% Esparita 70%	Bioclastos 20%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Boundstone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita, nucleos de cristales de calcita y saturación de microfósiles.	Talud
LIC25-56P	Esparita 30% Micrita 10%	Bioclastos mayores a 2 mm 60%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Cristales de calcita, pellets.	Arrecife
LIC25-57P	Micrita 5% Esparita 70%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 25%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Framestone (Embry y Klovan).	Vetillas rellenas de calcita.	Tras arrecife
LIC25-59P	Micrita 20% Esparita 30%	Bioclastos mayores a 2 mm 50%	Packestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Rudstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de calcita y material fino.	Plataforma abierta
LIC25-61P	Micrita 70% Esparita 15%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 15%	Packstone (Dunham), Biomicrita (Folk) y Bundstone (Embry y Klovan).	Fractura rellena de calcita y material fino, ademas de dos estructuras fosiles importantes.	Plataforma restringida
LIC25-63P	Micrita 60% Esparita 20%	Bioclastos mayores a 2 mm y cristales de calcita 20%	Wackestone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Budstone (Embry y Klovan).	Fractura con forma estilolitica y fracturas con relleno de calcita, ademas de que los fosiles estan suspendidos en la matriz.	Tras arrecife
LIC25-67P	Esparita 70% Micrita 5%	Fósiles 25%	Grainstone (Dunham), Bioesparita (Folk) y Bafflestone (Embry y Klovan).	Fractura con oxidacion, cristales de calcita, fosiles de foraminiferos.	Arrecife

Tabla 11-. Datos de láminas delgadas para características de capas de la columna El Pedernal.

Capítulo 4 Discusión de la bioestratigrafía, correlación e implicaciones paleoambientales.

De acuerdo con el trabajo realizado por Barboza-Treviño (2022), en el área de Peña de Salazar, Cerritos, San Luis Potosí, se localizaron organismos fósiles como *Rudistas*, principalmente *Radiolitidos* e *Hippuritidos* de tamaño reducido, es decir, con un claro síndrome de enanismo. Esto por las características de organismos adultos con las que cuentan los ejemplares, presentes en toda la zona estudiada, además de identificar horizontes de un material blando de tonalidad blanca a crema con el tamaño de arcillas, ahora identificado como una mezcla de calcita, cuarzo y algunas arcillas en poca cantidad como la illita y la caolinita, y en un caso específico aparece moscovita. Dichos horizontes son el reflejo de zonas someras o cercanas a la costa en las que el propio medio no permitió que estos materiales se consolidaran por completo.

Algunos otros indicadores documentados de estos movimientos relativos del nivel del mar en la zona de Peña de Salazar fueron la secuencia estratigráfica descrita, ya que esta representa ciclos de dichos movimientos que se reflejan tanto en la estratigrafía como en el análisis de zonas de facies (ZF) y SMF, que representa la posición de cada capa depositada en un perfil de costa. Por otro lado, los análisis geoquímicos de rocas son consistentes con rocas depositadas hacia una zona continental a marina somera.

En relación con las observaciones anteriores, surgió la pregunta sobre la localidad de llanos del Carmen, ubicada en el margen nor-occidental de la PV-SLP, si cuanta o no con indicadores similares de movimientos relativos del nivel del mar. La respuesta es sí, y dichos indicadores en este caso son la presencia de horizontes de material blando, los organismos de tamaño reducido, las secuencias estratigráficas documentadas en las que se aprecian ciclos de depósito que sugieren cambios en la profundidad o nivel del mar.

La evidencia en campo de dichos movimientos relativos del nivel del mar, van desde la descripción de los materiales que aparecen en la zona, hasta el conjunto de mediciones y anotaciones de cada estrato o capa descrita que conforman cada uno de los tres perfiles estratigráficos finales de La Tapona, estas secuencias de capas que suman un total 115.96 m medidos, sugieren cambios cíclicos plasmados de manera grafica en cada una de las seis columnas, al estar representados por los cambios de litología, en cuanto al material se refiere, que conforman cada estrato, es decir, la caliza en capas delgadas o bancos, los “horizontes de material blando”, y su poca aparición en el área, y finalmente los tramos de cubierta margosa, que representan una caliza con mayor fragilidad o propensa al desgaste por intemperismo o la propia caída por gravedad, tomando en cuenta que en estos estratos se encuentra bioturbación, lo cual indica un medio somero o lodoso, que facilita que estas marcas producidas por ciertos organismos, se conserven en las calizas.
Otro de los indicadores documentados en campo que resulta de interés es la presencia de pedernal en la zona, visto en varios perfiles y más de una capa de las que conforman las columnas estratigráficas, ya que dicho material representa una prueba más de la profundidad a la cual se estuvo depositando, pero algunos autores mencionan que puede haber pedernal que se deposite en ambiente somero he incluso en un ambiente continental como Aguayo Camargo, (1978). En ese caso el

pedernal en el área de estudio sería una prueba del depósito en diferentes profundidades y no un indicador de ciclos de movimiento en el nivel del mar.
En cuanto al tema estructural, en la zona no se observa un plegamiento pronunciado, o fallamiento a nivel local que genere situaciones que hagan pensar que algunas secuencias estratigráficas se repitan, por el contrario, los estereogramas generados a partir de datos de estratificación sugieren un basculamiento de bloques generados por la falla de mayor importancia en esta zona, la falla llamada El Fénix que se refleja en el lineamiento del arroyo a un costado de la mina del mismo nombre.

Los análisis de ZF y SMF, que determinan un ambiente, arrojan resultados donde los estratos de las columnas estratigráficas caen desde la zona de talud hasta la plataforma abierta, estos cambios en cada uno de los perfiles reflejan de manera cíclica un rango del cual estuvo oscilando el nivel del mar.

4.1 Correlación estratigráfica

Haciendo una comparación de las zonas de Peña de Salazar y la Tapona, se puede determinar que el centro-occidente y el margen nor-occidental de la PV-SLP cuentan con condiciones geológicas similares, pero en algunos casos estas condiciones cambian o se presentan con mayor intensidad en algunos puntos.

Para esto se debe hacer un reconocimiento o el recuento de la descripción de cada una de las columnas medidas en las dos zonas de estudio, por esta razón, se describen ambos casos, de acuerdo a Barboza- Treviño (2022) la localidad de peña de Salazar cuenta con dos columnas estratigráficas, la columna nombrada Peña de Salazar, que se divide en tres columnas enumeradas, es decir la columna 1, columna 2 y columna 3, y además de una segunda columna más pequeña nombrada Columna X, esto porque no concuerda con la secuencia base vista en el área.

La Columna X mostrada en la figura 99, es un tramo de 2.65 m con siete capas descritas inicialmente como roca caliza, sin embargo, tiene la peculiaridad de que la caliza en las primeras 6 capas se muestra una transición o intercalación con un material polvoso, hasta cierto punto similar a los llamados horizontes blandos, pero con mayor consolidación o capacidad de permanecer unido entre si formando terrones o rocas excesivamente suabes, que se descomponen al mínimo golpe de la pica o mazo, este material es de tonalidad crema a verde.

la capa de la cima es un banco de caliza de tonalidad gris claro, con bioclástos de rudistas. La Columna X, como se mencionó antes es un tramo que no parece seguir la secuencia de las otras tres medidas en la localidad, no cuenta con fallas que puedan indicar el movimiento para sugerir dicho cambio, por lo menos no cuenta con indicadores que localmente sugieran esta posibilidad.

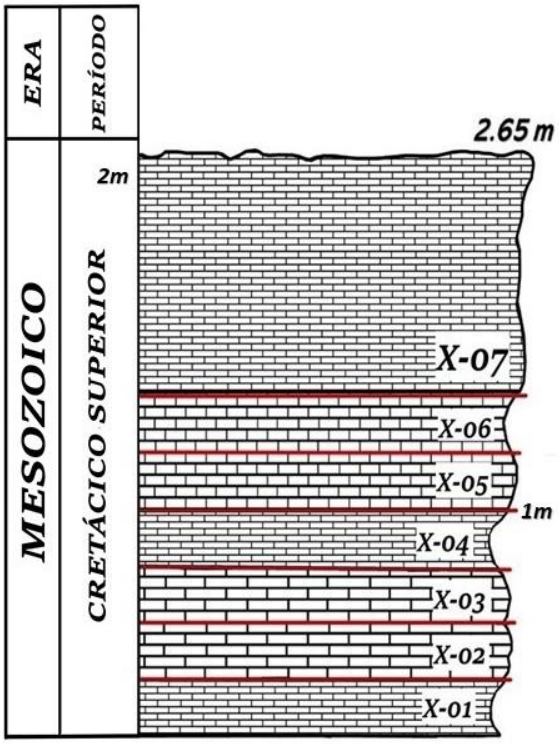


Figura 100-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna X, Formación el Abra, en Peña de Salazar, Cerritos, S.L.P.

La columna 1 (Figura 101), base de la columna Peña de Salazar es una secuencia de 25 capas de diversos tamaños, que van de los 6 cm a los 2 metros, se compone de roca caliza con tonalidad gris y 12 horizontes de material blando de tonalidad crema, lo que refleja una dinámica de depósito variada, ya que es la columna con mayor número de cambios en cuanto a material y tamaño de capas, además de reflejar estos cambios en el análisis SMF Y ZF. En cuanto a sus dimensiones esta columna cuanta con 13 metros medidos.

La columna 2 (Figura 102), pertenece a la parte central de la columna Peña de Salazar, se compone de 15 capas con variantes de tamaño menores a las de la base de la columna general, lo que podría indicar una etapa cambiante, pero de mayor estabilidad en cuanto al depósito de las calizas, en este caso no se presentan horizontes de material blando en la secuencia que da un total de 12.30 metros.

La columna 3 (Figura 103), cima de la columna Peña de Salazar, consta de 11 capas de caliza gris, en su mayoría bancos por sus dimensiones de 2 metros a poco más, además en esta secuencia aparece un horizonte de material blando, dando un total de 14.82 metros medidos.

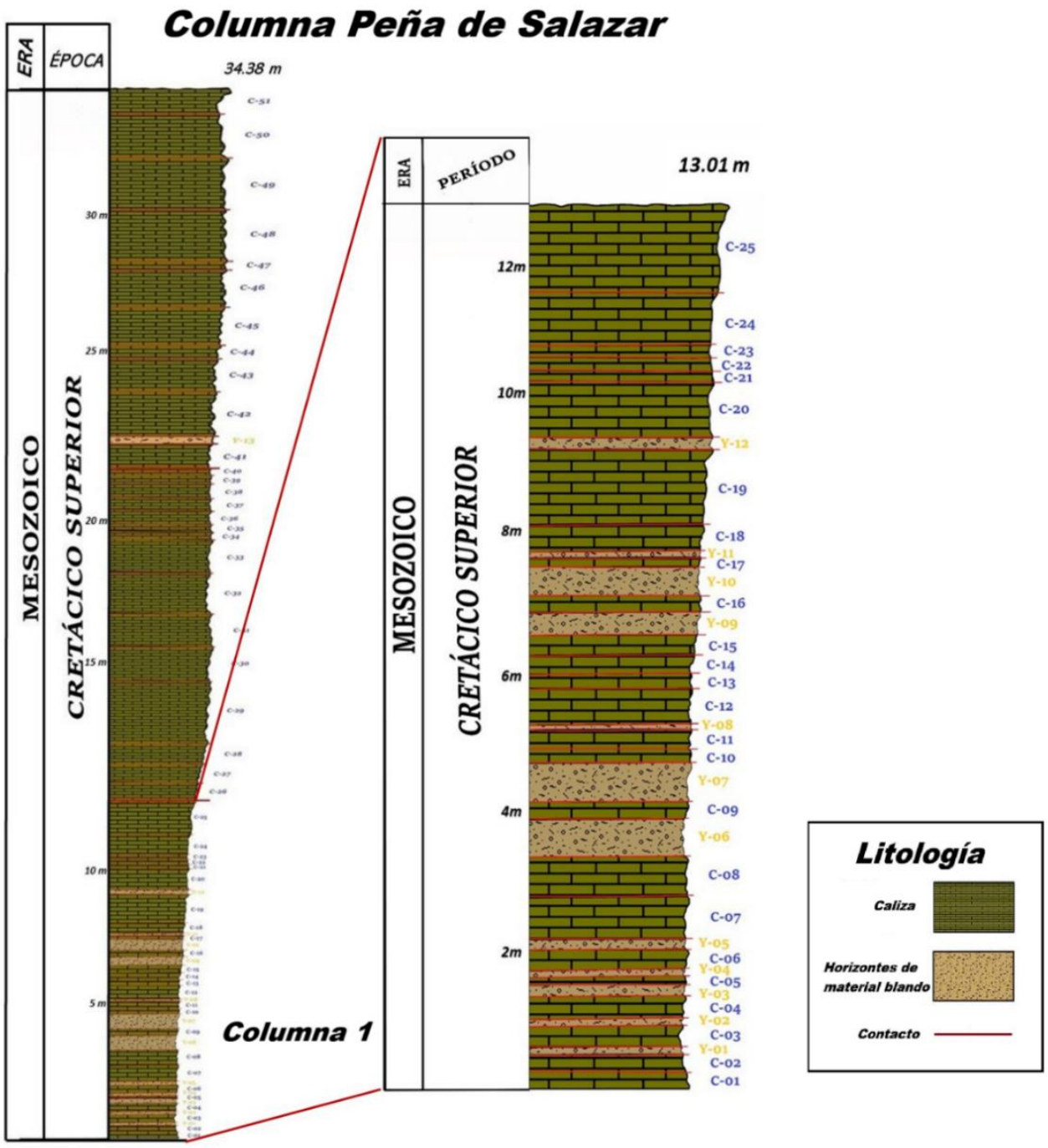


Figura 101-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna 1, Formación el Abra, en Peña de Salazar, Cerritos, S.L.P.

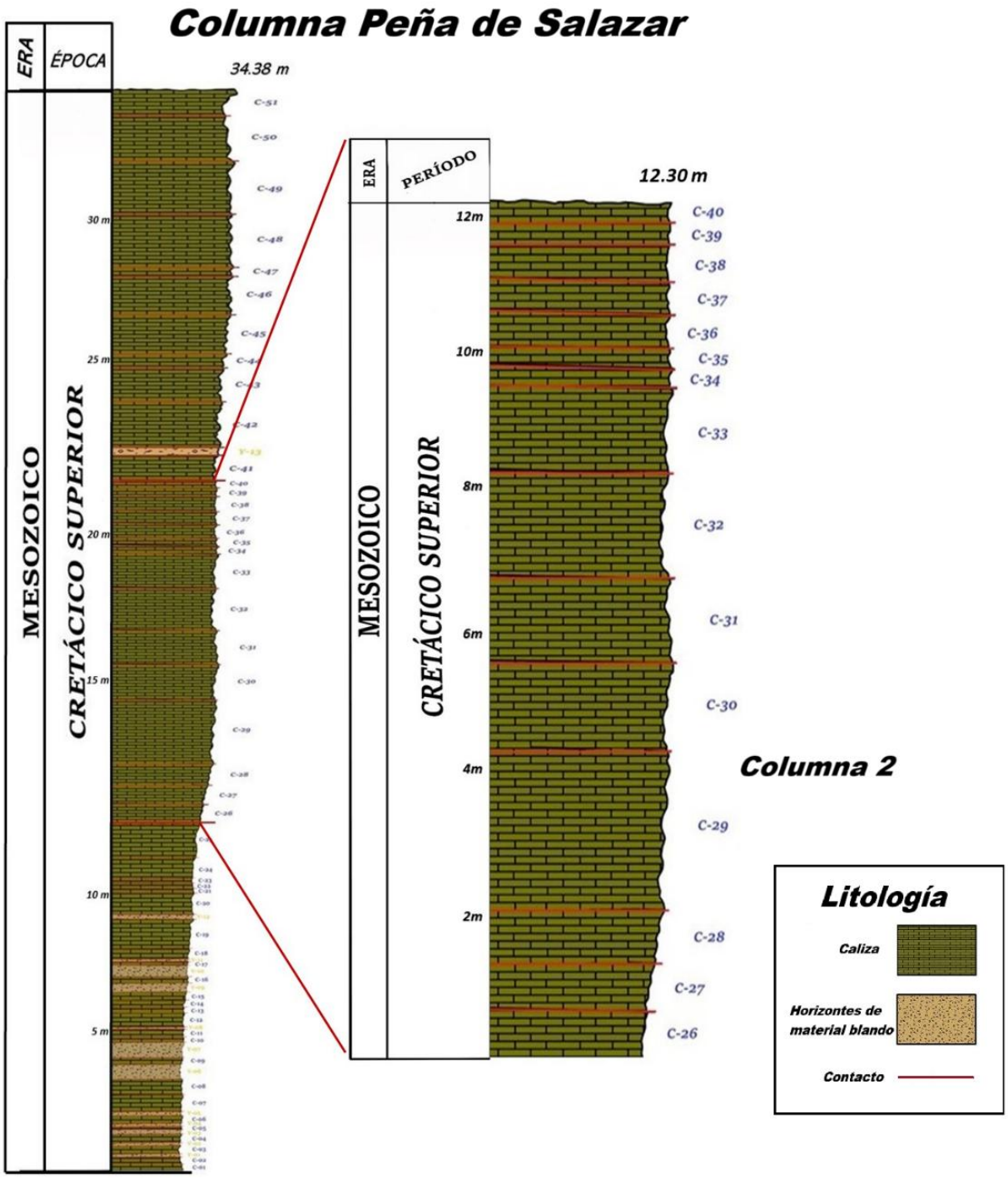


Figura 102-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna 2, Formación el Abra, en Peña de Salazar, Cerritos, S.L.P.

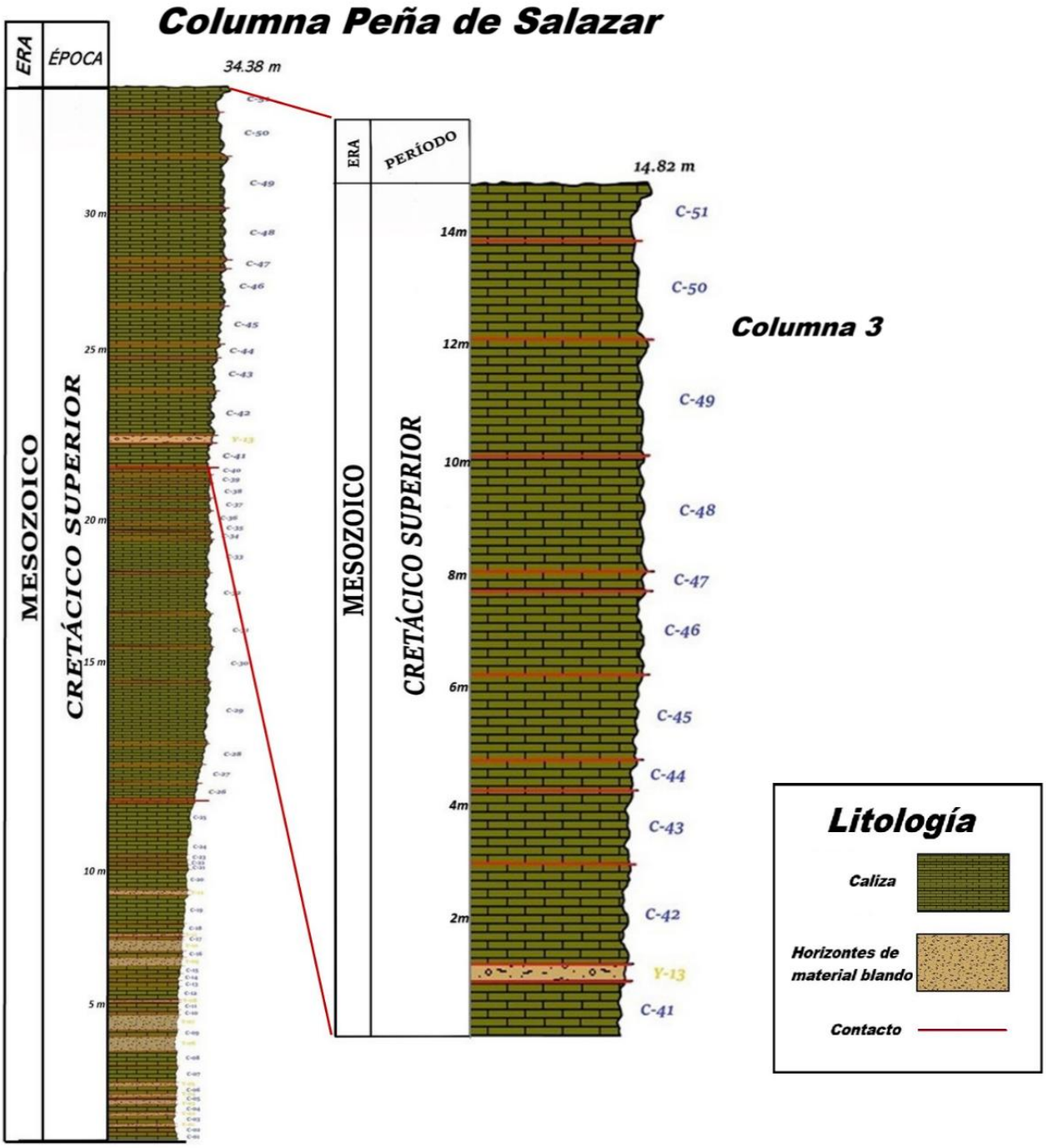


Figura 103-. Tomado de Barboza-Treviño (2022), diagrama de la Columna 3, Formación el Abra, en Peña de Salazar, Cerritos, S.L.P.

Para una descripción detallada de las características de las columnas en peña de Salazar, es necesario revisar a Barboza- Treviño (2022), por otro lado, la descripción de los perfiles medidos en el área de Llanos del Carmen ya fue mencionada a detalle en el capítulo 2 de este trabajo, por esta razón ya se puede iniciar la comparación y correlación de ambas áreas.

Como primer punto la presencia de horizontes blandos o en este caso, el material que podemos nombrar como sascab, existe en un mayor número en la localidad de Peña de Salazar con 13 capas bien definidas entre estratos por toda la secuencia, mientras que en la tapona solamente aparecen dos de estos horizontes definidos en dos secuencias distintas, el fénix y el pedernal. Este material abre un cuestionamiento en cuanto a capas semi consolidadas de caliza arcillosa que transición a sascab, es decir el material calcáreo que se denominó horizonte blando. Dicho material semi consolidado aparece en la columna x de Peña de Salazar y en la columna de El Pedernal en la Tapona, esto es un indicador de cambios en cuanto al medio de depósito de las calizas.

En cuanto al pedernal en franjas, barras y nódulos pequeños de tonalidades que van del negro al blanco, se documentan en las dos zonas de estudio, en el caso de Peña de Salazar solamente se documentan no más de 10 capas con nódulos de pedernal blanco, mientras que en la parte de llanos del Carmen, la tapona se presenta pedernal de la gama de tonos del blanco al negro como se mencionó anteriormente, esto siendo una evidencia de la migración y concentración de material silícico en este tipo de ambientes y no una prueba o indicador de profundidad, sin embargo la ocurrencia de pedernal en las columnas tiende a ser mayor en la columna El Fénix y en la columna El Pedernal, las cuales por sus resultados SMF tienen zonas de facies propias de profundidades mayores en cuanto al nivel del mar, como la zonas de talud, por ejemplo.

La figura 104 se observan las cinco columnas medidas en la margen occidental de la PV-SLP, los colores que se observan en las columnas son la representación de los distintos tipos de litología que contienen, pero por tramos de recurrencia del material y no por capas, por esta razón las divisiones son menores en ellas y facilitan su análisis en cuanto al depósito de estas rocas calcáreas.

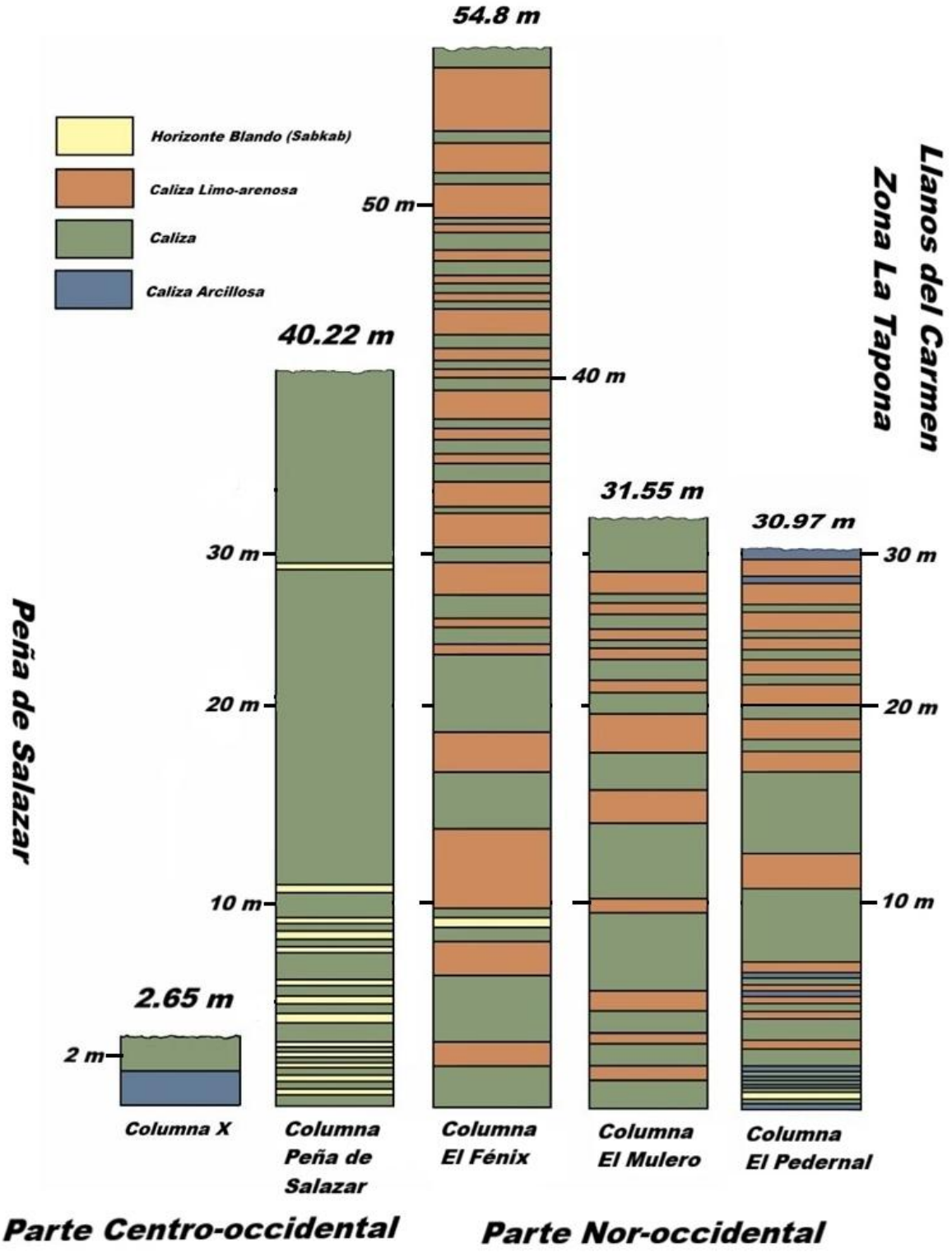


Figura 104-. Columnas estratigráficas de las zonas de Peña de Salazar y La Tapona.

4.2 Historia geológica

La parte central y nor-occidental de la PV-SLP sufrieron cambios similares, aunque con variantes espacio temporales en cuanto al ambiente y los procesos que se dieron durante la desecación del noreste de México o la retirada del mar de tierras continentales.

Los organismos que vivian en la periferia de la plataforma naturalmente tienen sus contrastes con organismos que se desarrollaban en el centro del mismo paleoelemento, es decir, los factores que afectaban su forma de vivir eran variables, como la ubicación de las especies, la salinidad, la exposición a la luz solar, los recursos tróficos, el aporte de sedimento, todos estos factores son distintos y al mismo tiempo característicos de ambientes marinos determinados, por esta razón el registro de ciertos eventos sufridos de manera simultánea o en etapas distintas, puede ayudar a explicar determinados momentos de la historia natural que aún no están reconstruidos, o por lo menos no han sido documentados y analizados a base de pruebas concretas, evidencias que deben ser registradas a partir de una duda en común, si bien es verdad que la PV-SLP estuvo bajo el mar y posteriormente sus vestigios deberían estar expuestos al aire, la historia o las etapas de este cambio requieren de ser definidas con un mayor detalle.

Para esto se generaron escenarios hipotéticos a partir de los resultados obtenidos en las localidades de Peña de Salazar y La Tapona, las nombraremos caso uno y caso dos respectivamente.

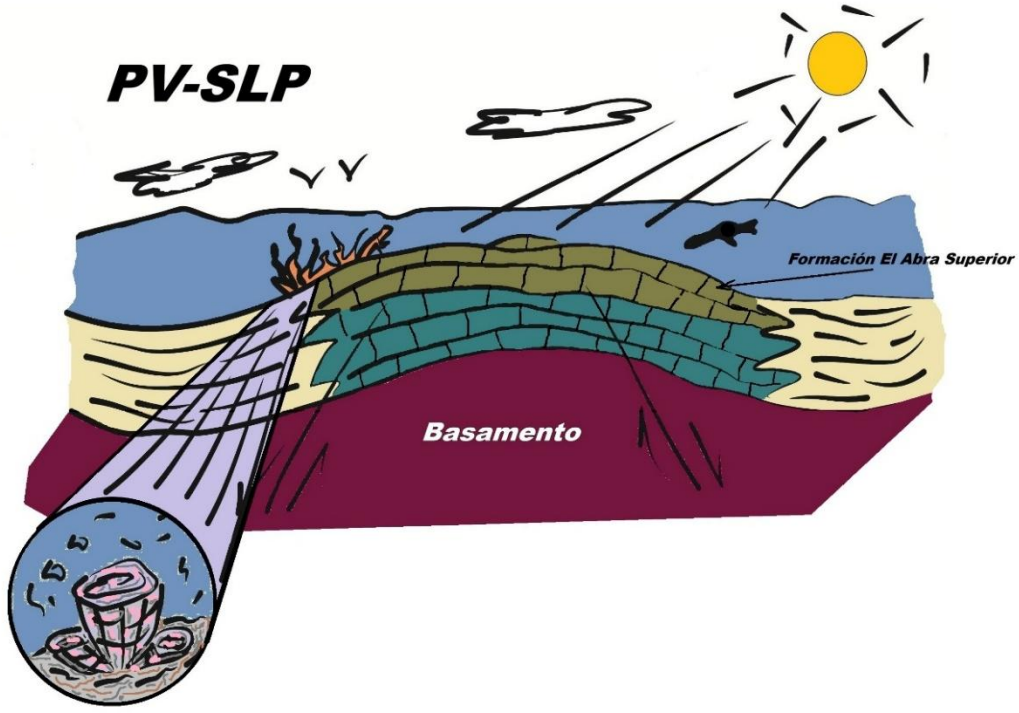


Figura 105-. Representación de la PV-SLP.

El caso uno, es una secuencia de regresiones y trasgresiones ocurridas en la porción centro occidental de la PV-SLP, etapas donde el cordón de agua estuvo en niveles distintos por lapsos de tiempo y esto influyo en el depósito de las calizas y el desarrollo de la vida en la zona. Este escenario proporciona etapas de cambio que producen resultados de SMF y ZF con variantes drásticas y no de transición lenta o gradual, es decir, las capas se mantienen como grupos de depósito en zonas determinadas, lo que indicaría una evolución lenta en cuanto a los cambios de ambientes, en este caso el ambiente que predomina es el de plataforma abierta, por lo tanto los organismos en esta área son afectados en cuanto a su desarrollo de una forma que permite adaptarse a las condiciones, logrando concentraciones o zonas con abundancia de organismos variados he incluso acumulaciones de organismos muertos depositados en algunos estratos que se muestran repletos de estos restos fósiles.

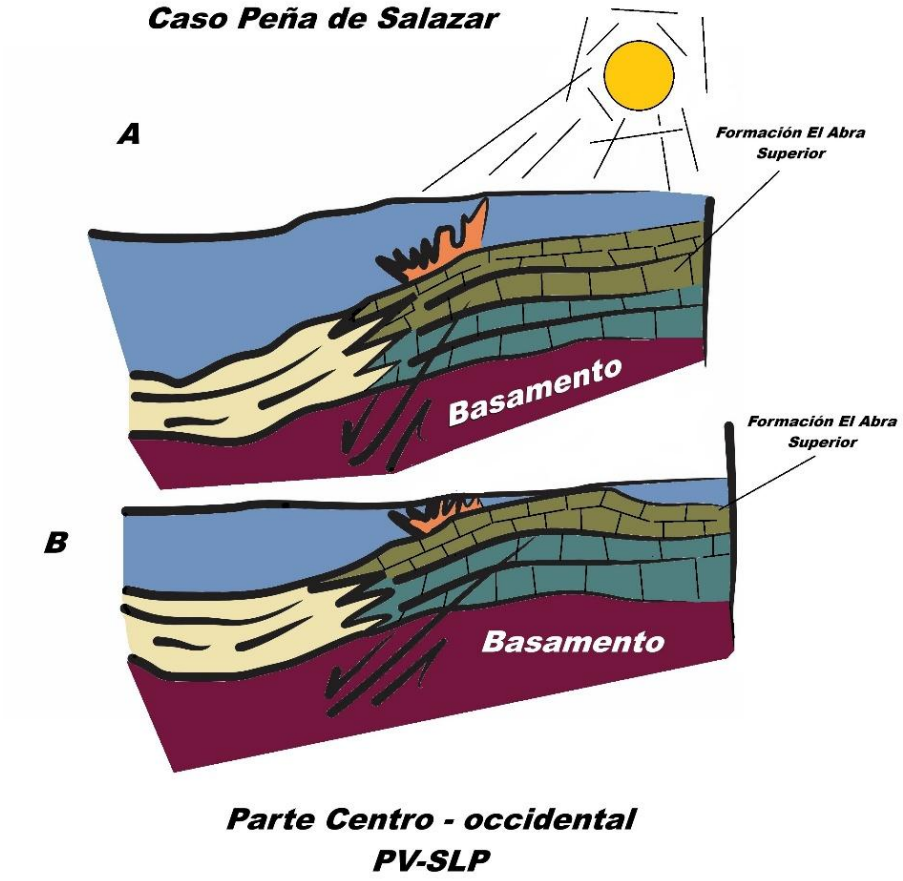


Figura 106-. Secuencia simplificada de lo que sucedió en la porción centro occidental de la PV-SLP.

El caso dos (Figura 107), por otra parte, muestra un ambiente con mayor cantidad de cambios, de manera rápida, sin estabilidad para que los organismos se adaptaran por completo y difícil para el desarrollo de estos. Por lo que se puede recrear un escenario en el que eventos regionales tuvieron un efecto sobre esta zona, ya que la forma en la que las aguas se retiraron en la margen occidental y la deformación que fue producida por el orógeno mexicano, son factores que alteraron de manera indirecta el desarrollo de la vida en ambos casos.

Para iniciar tenemos la fase A, una margen de plataforma típica, el desarrollo de los arrecifes y organismos es el correcto con alimento, exposición a la luz solar y salinidad típica de dichas zonas, para la fase B, se presenta algo de deformación y cambios en el nivel del mar.

La fase C son ciclos de trasgresiones marinas que generan otras condiciones, finalmente la fase D muestra zonas expuestas de la plataforma y algunas charcas o zonas que permanecen con agua, en estos casos se generan ambientes propicios para organismos que generen marcas de bioturbación, como la de los gossifungites.

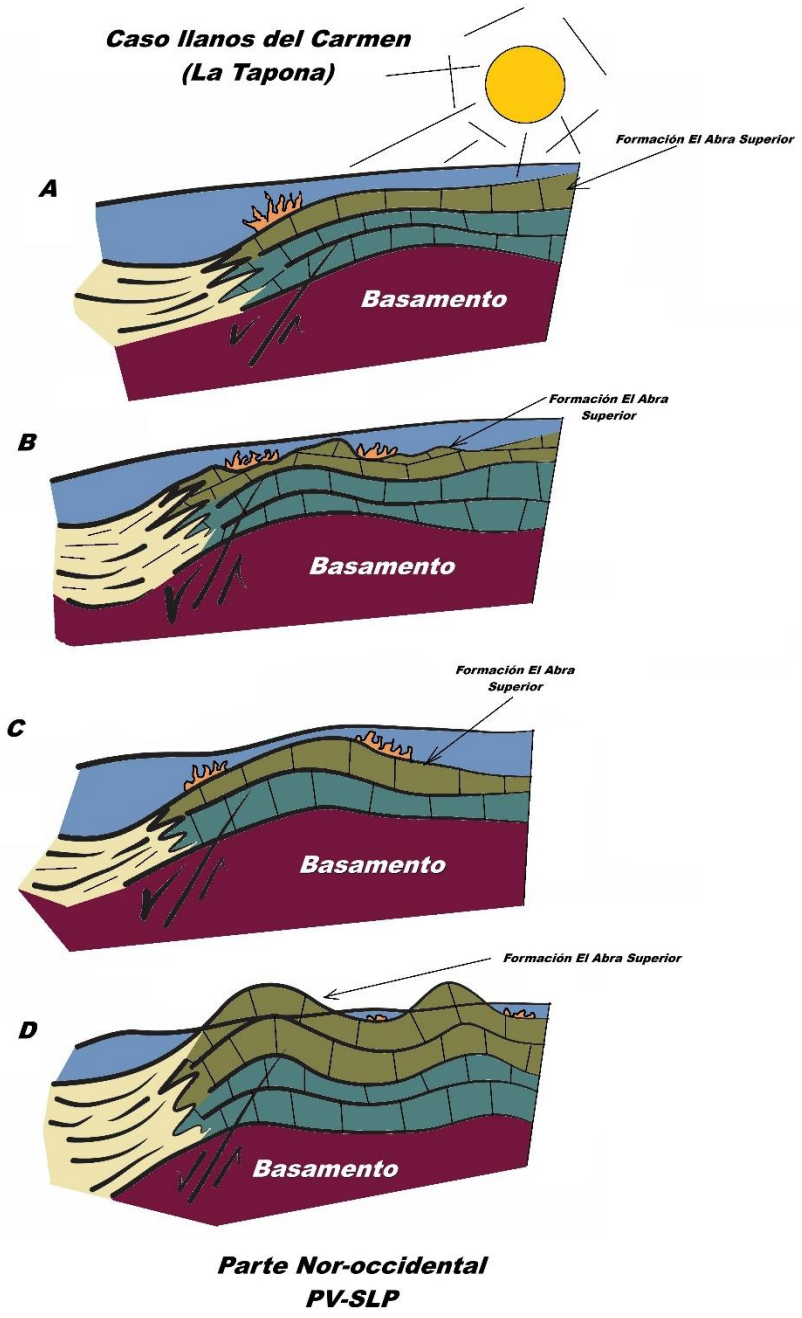


Figura 107-. Secuencia simplificada de lo que sucedió en la porción nor-occidental de la PV-SLP.

Conclusiones

Las rocas presentes en la zona de estudio corresponden a caliza con diversos grados de consolidación, zonas de facies y microfacies o aportes terrígenos y bioturbación, entre otros rasgos, por lo que podemos decir que el nivel del mar en el cual fueron depositadas tuvo cambios en ciclos establecidos.

Los indicadores de movimientos relativos del nivel del mar presentes en la zona de Peña de Salazar son similares, o idénticos en casos específicos, para la zona de estudios de la Tapona en Llanos del Carmen, lo que indica que la PV-SLP sufrió los mismos eventos de cambios de nivel del mar de manera cíclica, aunque no del mismo modo y al mismo tiempo en todos sus sectores, teniendo pequeñas variantes en cuanto a eventos de cada zona, todo esto durante el Cretácico Superior. Lo anterior permite concluir que en este proceso regresivo que se ha documentado de manera general, intervinieron procesos globales como el descenso en el nivel del mar hacia el Cretácico Superior y a nivel local procesos relacionados a eventos como la evolución del orógeno mexicano, con el levantamiento de la Sierra Madre Oriental.

La presencia por sí sola del pedernal observado, no es considerada un indicador de gran profundidad en el área de estudio, en este caso será solamente una prueba de los diversos ambientes en los que se forma este material y su tendencia a viajar para formar concentraciones en un rango batimétrico más amplio. Considerando en este caso su recurrencia a aparecer en las columnas con SMF o ZF que tocan el rango de características propias de una zona de Talud.

La confusión previamente dada por la presencia del organismo identificado como Bolivina o un miembro de la familia Bolivinidae fue analizada y se descarta, en su lugar las características de composición o formación de la concha en estos organismos son de una textulariina, por ser de concha aglutinante y no secretada, como es característico en estos organismos. Por esta razón se toma preferentemente a los rudistas para determinar una edad cenomaniana.

Bibliografía

Aguayo- Camargo, J.,1998, The middle cretaceous El Abra limestone at is type locality (facies, diagenesis and oilemplacement), East-central México: revista mexicana de ciencias geológicas, V. 15, P. 1-8.

Aguayo-Camargo, J., E. (1978). Diagénesis de Nodulos de pedernal de la Formación Tamaulipas Superior. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, XXXIX no. 2. p.p. 5-13.

Aguilar, R. A., 1984, Integración geológica y geoquímica para determinar posibles áreas de generación de hidrocarburos en la porción centro-oriente de la zona norte, IG-ZN-36, PEMEX, México, informe inédito.

Barboza-Treviño,D.M., 2022, Estudio bioestratigrafico y microfacial de una sucesión regresiva de la Formación el Abra en la localidad de Peña de Salazar S.L.P. (Margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, P.254.

Bonet, F.,1963, Blostratigraphic notes on the cretaceous of Eastern México, in Corpus Chiristri Geol. Soc. Ann. Field trip Guidebook, P36-48.

Bose, E.,1906, La fauna de moluscos del cenomaniano de Cárdenas, S.L.P. Mex. Ins. Geol. De. Mex.

Bosence, D., 2005, Agenetic clsification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the cenozoic: sedimentary geology, V. 175, P. 49-72.

Bilotte, M.,1984. Les grands foraminiféres betiques du Crétacé Supérieur Pyrénéen. Biostratigraphie. Réflexion su corrélations mésogéennes. In Oertli, H.J. (Ed.). Benthos 83. 2nd Internacional Symposium on Benthic Foraminifera. Elf Aquitaine Esso REP and Total CF. p. 61-67

Burne, R.V., y Moore, L.S., 1987, Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial comunitis: PALAIOS, V. 2, P. 241.

Carreño, A., Perrilliat, M., Gonzales- Arreola, C., Applegate, S., Martinez- Hernandez, E.,1989, Fósiles tipo mexicanos, P. 531.

Carrillo-Bravo, J.,1971, La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Boletín de la asociación mexicana de geólogos petroleros, V.23, P. 110.

Carrillo-Bravo, J.,1982, Exploración petrolera de la cuenca mesozoica del centro de México, vol. XXXIV No 1, P.

Coogan, A. H.,1997, Early and middle cretaceous hippuritacea (rudists) of the gulf coast, in bebout, D. G. y Loucks, R.G. eds., Cretaceous carbonats of Texas y Mexico, P. 32-70.

Coogan, A.H., 1973, Nuevos rudistas del Albiano y cenomaniano de Mexico y sur de Texas. Revista de Instituto Mexicano del Petróleo 5, P. 51-83.

Dana, J.D.,1896, Manual of Geology; New York American book company, 1987 p.

De Sansores, J.C., Flores-Covarrubias, C., 1972, Foraminíferos bentónicos del terciario superior de la cuenca salina del istmo de Tehuantepec, México, Atlas con 28 láminas delgadas, Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de tecnología de exploración, sin No. De páginas.

Dirección de estudios del territorio nacional, Carta de climas de la hoja S.L.P. (14- Q- 1) México 1972. Escala 1: 50, 000.

Dunham, R.,1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists (Mémoir Special). Tulsa. p. 108-121

Elliot, G.,1956. Galaxaura (calcareous algae) and similar fossil genera. Journ. Esh. Acad. Sci., 46(11). p. 341-343

Echanove, O.,1986, geología petrolera de la cuenca de burgos (parte 1) consideraciones geológico-petroleras: boletín de la asociación mexicana de geólogos petroleros, V. 38, P. 3-39.

Edgell, H. S.,1997, significance of reef limestone as oil and gas reservoir in the middle east and north africa, en 10th Ed Edgeworth David Symposium, department of geology and geophysics. University of sidney, P. 1-16.

Embry, A. F., Klovan, J. E.,1972, Absolute wáter Depth limits of late devonian paleoecologic zones; Geologisch rundschau, 61: 672-686.

Euguiluz de Antuñano, S.,2011, Secuencia estratigráfica del Berriasiano-Aptiano en la cuenca de sabinas: su significado en el entendimiento de la evolución geológica del noreste de mexicano, boletín de la sociedad geológica mexicana, V. 63, P. 285- 311.

Fitz-Díaz, E., Lawton, T.F., Juárez-Arriaga E., Chávez-Cabello, G.,2018, The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics, Earth-Science Reviews, V. 183, P. 56-84.

Folk, R.L.,1962, Spectral subdivisión of limestones types. Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem.1,62-84, 1 tab., 7 figs., tulsa.

Flügel, E.2004. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis: interpretation and Application. Springer, Germany. 976p.

Flügel, E.,2010, Microfacies of carbonate rocks, E. Flügel, ed.: Springer, V. 53, P. 1006.

Garza B.S.A.,1978, Cartografía geológica Santa Catarina, S.L.P. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 61, 37 p.

Goldhammer, R.K.,1999, Mesozoic secuences stratigraphyc and paleogeographic evolution of northester México, en bartolini, C., Wilson, J.L., y Lawton, T.F. eds., mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central México, Boulder, Colorado, Geological society of america special paper 340, P. 1-58.

Goldhammer, R.K., Lehmann, C., Todd, R.G., Wilson, J.L., Ward, W.C., y Johnson, C.R.,1991, Sequence stratigraphy and cycloestratigraphy of the mesozoico f the sierra madre oriental, northeast mexico, a field guide book: Gulf coast section, society of economic paleontologists and mineralogists, p. 86.

Goldhammer, R.K., y Johnson, C.A.,2001, Middle Jurassic-Upper cretaceous paleogeographic evolution and sequence-stratigraphic framework of the northwest gulf of mexico rim, en bartolini, C., Buffler, R.T., y Cantu-Chapa, A. eds., The western gulf of mexico basin, association of petroleum geologists memoir 75, P. 45-81.

Grabau, A. W., 1913, Principles of stratigraphy, Bulletin of the American Geographical society, V. 47, No. 2 (1915), P. 143-145.

Harris, M.T.,1991, Carbonate progradation geometry and significance of sediment acumulation patterns and syndepositional relief: comparison of modeling resultas with outrop data, en K., F.E., Watney, W.L., Kendall, C.G.S.C., y Ross, W. eds., sedimentary modeling: compiuter simulation and methods for improved parameter definition, Kansas geological survey bulletin, P. 509-5017.

Heim, A.,1940, The front ranges of Sierra Madre Oriental, México, from Ciudad Victoria to 66 Tamazunchale. - Ecologae Geol. Helvetias, 33(2): 313 – 352.

Hérnandez T. J. R. y Tristán G. M.,2000, Cartografía geológica de la Hoja Guadalcazar. Cartas temáticas editadas por el Consejo de Recursos Minerales, (carta geológica e informe anexo).

Huck, S., Heimhofer, U., Rameil, N., Bodin, S., y Immenhauser, A.,2011, strontium and carbonisotope chonoestratigraphy of Barremian- Aptian shoal-water carbonates: Northern tethyan platform drowning predates OAE la: Eart and planetary science letters, V. 304, P. 547-558.

Insalaco, E., Skelton, P., y Palmer, T.J.,2000, carbonate platform systems: components and interactions- and introduction, Geological society, London, special publications, V. 178. P. 1-8.

Jahren, A.H.,2002, The biogeochemical concequences of the mid-cretaceous superplume, journal of geodinamics, V. 34, P. 177-191.

Jenkyns, H.C.,2003, Evidence for rapid climate change in the mesozoic-paleogenegreenhouse world, en J.H Lawton, J. Marotzke, R. Marsh, y I.N. McCave, eds: phylosofical transactions of the royal society of London, series A: Mathematical physical and engineering sciences, V. 361., P. 1885-1916.

Juárez-Arriagaa, E., Lawtonb, T.F., Stocklic, D.F., Solarib, L., Martensb, U.,2019, Late Cretaceous-Paleocene stratigraphic and structural evolution of the central Mexican fold and thrust belt, from detrital zircon (U-Th) / (He-Pb) ages, Journal of South American Earth Sciences V. 95, P. 17.

Kai-Jun Z., Qiu-Huan L., Li-Long Y., Lu Z., Lu L., Yu-Xiu Z., Jie H., Xin J., Xian-Chun T.,2016, Geochemistry of limestones deposited in various plate tectonic settings, Earth-Science Reviews, P. 21.

Kelly, S.P.,2003, The workings of the cretaceous world, en Skelton, P.W. ed., The cretaceous world, Cambrige, P.185-207.

Labarthe H. G. & Tristán G. M.,1978, Cartografía Geológica Hoja „San Luis Potosí. - 34 S., Universidad Autónoma de San Luis

Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 59.

Labarthe H. G., Tristán G. M. & Aranda G. J.,1982, Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis Potosí. - 205 S., Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 85.

Lehmann, C., Osleger, D.A., y Montañez, I.P.,1998, Control on cyclostratigraphy of lower cretaceous carbonates and evaporites, cupido and Coahuila platforms, northeastern Mexico, journal of sedimentary research, V.68, P.1109- 1130.

López Doncel, R.,2003. La Formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles - San Luis Potosí, centro-noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 20(1). p 1-19.

López-Doncel, R.,2004, Manual rocas carbonatadas, Folleto técnico 127; Instituto de geología UASLP, P. 34.

López Doncel, R., Rodríguez Hernández, E., Navarro Moctezuma, A., Pichardo Barrón, Y., Aguilar Pérez, J., Alencáster Ybarra, G., López Oliva, G.,2008. Análisis de clastos en brechas calcáreas de una zona de transición "plataformacuenca"; implicaciones estratigráficas, deposicionales y de procedencia. In resúmenes del 2° Simposio Geocientífico Internacional Linares, p. 96-98

López Doncel, R., Soto Araiza, R., Dircio Castro, D.,2008. Carta Geológico – Minera Peotillos F-14 – A75: Hoja Peotillos, escala 1:50,000, San Luis Potosí, México. Servicio Geológico Mexicano. 1 mapa con texto.

Méndez- Dot, J.A.M., Baamonde, J.M., Reyes, D., y Whilchy, R.,2015, The cogollo group and the oceanic anoxic events 1a and 1b, Maracaibo basin, Venesuela, brasilian journal of geology, V. 45, P. 41-61.

Miller, W.III.,2007, Trace fossil: Concepts, problems and prospects.Elsevier, Amterdam, P. 116.

Morán-Ramírez, J., Ramos-Leal, J.A, López-Álvarez, B., Lozada, S.C., y De león, G.S.,2013, Comportamiento hidrogeoquimico de flujos subterráneos en acuíferos carsticos fracturados, aplicando modelación inversa: Caso Huasteca Potosina: boletín de la sociedad geológica mexicana, V. 65, P. 71-82.

Muir, M.J.,1936. Geology of the Tampico Region Mexico. The American Association of Petroleum Geologists Bullet. 20(10). p. 1-280

Murray, G.E.,1961, Geology of the Atlantic and gulf coast of northeamerica: New york, Harper and brothers, P. 692.

Myers R.,1968, Bioestratigraphy of the Cardenas Formation (Upper Cretaceous) S.L.P., México. Instituto de Geología, UNAM, México paleontología Mex. No. 24, p. 1-89.

Nieto- Samaniego, Á.F., Alaniz- Alvarez, S.A., y Cano, A.C.,2005, La mesa central de Mexico; estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: Boletin de la sociedad geológica mexicana, V.57, P. 285- 318.

Núñez-Useche, F., Barragan, R., Moran Bedmar, J.A., y Carnet, C.,2014, Mexican archives for the major cretaceous ocean anoxics events, Boletin de la sociedad geológica mexicana, V. 66, P. 491- 505.

Noffke, N.,2010, Geobiology: Berlín Heidelberg, Spring Berlin Heidelberg.

Ocampo- Diaz, Y.Z.E., Torres- Sanches, S.A., Augustsson, C., Barboza- Gudiño, J.R., Garcia- Diaz. J.L., Talavera- Mendoza, O., Aceves de Alba, J., Castro- Larragoitia, G.J., Martinez- Paco, M., Saucedo, R., Aguillon-Robles, A.,2019, Provenance and tectonic setting of the jurassic Huayacocotla formation and Alamitos sandstone, central México, in press (Yam Zul Ernesto Ocampo- Diaz, *et al*, Geochemistry, https//doi.org/10.1016/jchemer.2019.05.004).

Omaña Pulido, L.,2011. Bioestratigrafía, paleoecología y paleobiogeografía del Cretácico superior con base en foraminíferos de la parte occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, México. México.

Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 198p.

Omaña-Pulido, R.,2011, Estratigrafía, paleontología y paleobiogeografía del cretácico superior con base en foraminíferos de la parte occidental de la plataforma valles-san Luis potosí, México. P. 198.

Omaña, L., Torres, J., López, R., Alencáster, G.,2016. Cenomanian algae and microencrusters from the El Abra Formation, W Valles–San Luis Potosí, México. Paleontología Mexicana, (1), p. 53-69.

Pérez, B. C., 1990, Compilación geológica, prospecto huasteca, informe geológico No. 714 (inédito), super intendencia general de datos de explotación zona norte, petróleos mexicanos.

Pichardo- Barrón, Y.,2016, Apuntes petrología sedimentaria, UANL, diapositivas 133.

Pichardo- Barrón, Y.,2016, Paleontología sedimentaria; rocas carbonatadas, UANL, diapositivas 41.

Pochon, X., Montoya- Burgos, J.I., Stadelmann, B., y Pawlowsky, J.,2006, Molecular phylogeny, evolutionary rates, and divergence timing of the simbiotic dinoflagellate genus simbiodinium: molécular phylogenetics and evolution, V.38, P 20-30.

Pons J.M., Garcia Barrera P., Oviedo García A., Vicens B., 2021, Mexican Upper Cretaceous rudists (Hippuritida, Bivalvia): Taxonomic, stratigraphic, and geologic data, Journal of South American Earth Sciences109 (2021) 103237, 16 p.

Pomar, L., y Kendall, C.G.S.C.,2008, Architecture of carbonate platforms: a response to hydrodynamics and evolving ecology, P. 187-216.

Raisz E.,1959, Landforms of Mexico. - Cambridge, Mass., mapa con texto, Maßstab 1:3,000,000. Edición privada.

Ramos-Hernández, J.,2018, Análisis microfacial paleontológico y geoquímico en carbonatos de la Formación el Abra, cerritos, san Luis potosí, México. P.

Reijmer, J.J.G.,2016, Carbonates factories, in Harff, J., Meschede, M., Petersen, S., and Thiede, J. eds., encyclopedia of marines geociences, P.80-84.

Riding R.,1991, Clasification of microbial carbonates in: calcareous algae and stromatolites. Springer Berlín Heidelberg, Berlín, Heidelberg, P 21-51.

Rovere, A., Stocchi, P., y Vacchi, M.,2016 eustatic and relative sea level changes: current climate change reports, V. 2, P. 221-231.

Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.,2011, Manual para trabajo geológico de campo, UNAM, P. 372.

Salvador, A.,1991 a. Triassic-Jurassic: in, Salvador, A., ed. The gulf of mexico basin: The geology of north america, VolumeJ., P. 131-180.

Salvador, A.,1991 b, origin and development of the gulf of mexico basin: in. Salvador, A., ed., The gulf of mexico basin: The geology of north america, Volume J., P. 389-444.

Scott, R.W.,1988, Evolution of late jurassic and early cretaceus reef biotas: society of economic paleontologists and mineralogists, V. 3, P. 184- 193.

Schlagintweit, F.,1991. On the occurrence of the genus Permocalculus Elliott, 1955 (Calcareous algae, Gymnocodiaceae) in the upper Cretaceous of the Northern Calcareous Alps (Branderfleck Formation, Gosau Formation) with the description of Permocalculus gosaviensis N. sp. Revue de Paléobiologie. 1(10). p. 37-46.

Schroeder, R., Neumann, M.,1985, Les grandesforaminiféres du crétacé Moyen de la región méditerranéenne. Geobios, Mémoire Spécial 7, P. 161, 68 pl.

Skelton, P.W.,1976. Functional morphology of the Hippuritidae. Lethaia 9(1). p. 83- 100.

Suter, M.,1990, Geología de la hoja Tamazunchale, estados de Hidalgo, Querétaro y Sn Luis Potosi, Instituto de Geología UNAM, 55 p.

Torres- de la cruz, F.,2019, Análisis de la progradación de la plataforma cupido en el noreste de México durante el cretácico inferior, P. 155.

Tucker, M.E.,1992, Limestone through timein Brown, G.C., Haukersworth, C.J., y Wilson R.C.L.eds., undertanding the earth, a new synthesis, Cambridge university press, P.347- 363.

Turek, V., Marek, J., Benes, J.,1990, La gran enciclopedia de los fósiles, SUSAETA, S.A., segunda edición, P. 520.

Venegas-Rodríguez, G., Barboza-Gudiño, J.R., López-Doncel, R.,2009, Geocronología de circones detríticos en capas del jurásico inferior de las áreas de la sierra de catorce y el Alamito en el estado de San Luis Potosí. Revista Mexicana de ciencias geológicas 26 (2), 466-481.

Wray, J.,1977. Calcareous algae. Developments in paleontology and stratigraphy. Elsevier. New York. 185p.

Wilson, J.,1975. Carbonate facies in geologic history. New York. Springer-Veralg. 470p.

Wilson, J.L., y Ward, W.C.,1993, Early cretaceous carbonate platforms of northeastern and east-central Mexico, en Simon, J.A., Scott, R.W., Y Masse, J.P. eds., cretaceous carbonate platforms, american association of petroleum geologists, memoir, Vol. 56, P.35-50.

Zapata-Zapata, J., Pérez- Venzor, J.,1979, Cartografía geológica hoja Peotillos, S.L.P., Folleto técnico No. 63, Instituto de geología y metalurgia UASLP.