

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



INTERPRETACIÓN TAFONÓMICA Y GEOQUÍMICA DE LAS FORMACIONES
EAGLE FORD Y AGUA NUEVA DEL CRETÁCICO SUPERIOR, EN DOS
LOCALIDADES DEL NORESTE DE MÉXICO: RECONSTRUCCIÓN
PALEOAMBIENTAL

POR

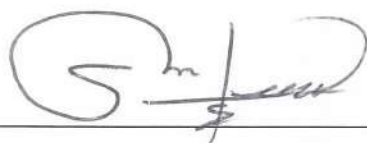
M.C. GRETA GUADIANA PADILLA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
CON ACENTUACIÓN EN MANEJO DE VIDA SILVESTRE Y DESARROLLO
SUSTENTABLE

OCTUBRE 2021

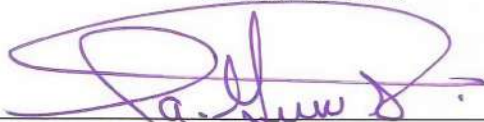
INTERPRETACIÓN TAFONÓMICA Y GEOQUÍMICA DE LAS FORMACIONES
EAGLE FORD Y AGUA NUEVA DEL CRETÁCICO SUPERIOR, EN DOS
LOCALIDADES DEL NORESTE DE MÉXICO: RECONSTRUCCIÓN
PALEOAMBIENTAL

Comité de Tesis



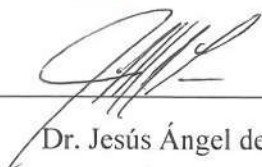
Dr. Luis Encarnación Silva Martínez.

Director de Tesis



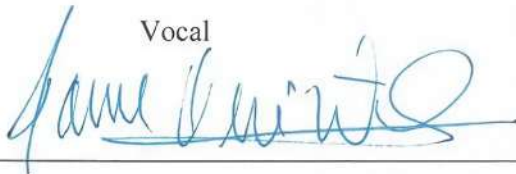
Dr. Juan Antonio García Salas.

Secretario



Dr. Jesús Ángel de León González

Vocal



Dr. Ramiro Quintanilla Licea

Vocal



Dr. David Lazcano Villarreal

Vocal



Dra. Katiushka Arévalo Niño

Subdirectora de Posgrado



SUBDIRECCIÓN
DE POSGRADO

INTERPRETACIÓN TAFONÓMICA Y GEOQUÍMICA DE LAS FORMACIONES
EAGLE FORD Y AGUA NUEVA DEL CRETÁCICO SUPERIOR, EN DOS
LOCALIDADES DEL NORESTE DE MÉXICO: RECONSTRUCCIÓN
PALEOAMBIENTAL



Dr. Luis Encarnación Silva Martínez.

Director de Tesis

6

AVISO DERECHOS DE AUTOR

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) le agradezco la beca recibida durante el doctorado. La ciencia es lo más próximo a la verdad que tenemos y el financiamiento de proyectos e investigaciones nos acerca a esa verdad que anhelamos conocer.

A la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León le doy gracias por la facilitación de instalaciones, equipo y materiales y todo el apoyo que nos brindó el personal de la subdirección de Posgrado.

Le agradezco profundamente a la Universidad Autónoma de Coahuila y, especialmente, a la M.C. Silvia Patricia Morales Juárez que donó material que fue utilizado en esta investigación.

Doy gracias a mi comité de tesis, Dr. Juan Antonio García Salas, Dr. Jesús Ángel de León González, Dr. Ramiro Quintanilla Licea y Dr. David Lazcano Villarreal, gracias, porque siempre estuvieron dando seguimiento a los avances y rezagos del proceso durante los seminarios y que hicieron comentarios y sugerencias muy puntuales.

Por último, pero no menos importante, doy gracias al Laboratorio de Paleobiología, a mis compañeros y amigos, en especial a Gaby y a Miros, por las salidas a campo, las risas a la hora de comida, el apoyo que fueron durante este proceso, gracias. Al Dr. Hidalgo Rodríguez Vela por siempre ayudarnos con la elaboración de mapas y prestarnos material de campo. Y gracias por la confianza a mi director de tesis, Dr. Luis Encarnación Silva Martínez, sus enseñanzas fuera del aula son algo que no cualquier alumno tiene el privilegio de experimentar. Y, por supuesto, gracias a Sci-hub.

A todos, gracias.

DEDICATORIA

Soy una persona de acciones más que de palabras, pero en esta ocasión es inevitable que agradezca y le dedique mi trabajo a mi familia, que al final del día son lo más importante que tenemos. A mi madre Juanita, que si le preguntan les va a decir que trabajo con fósiles y “piedras”, pero que jamás pierde la oportunidad de presumirlo entre sus amistades, gracias “ma” por el apoyo incondicional. A mi hermano Emilio que sé que siempre estará cuando lo necesite, a ti también, mil gracias. A mi difunto padre René, del cual no me queda la menor duda que estaría muy orgulloso de mi. Gracias a todos por nunca decirme “no”.

Por último, gracias al universo y a su entropía por traerme hasta aquí. A ti también, gracias eternas.

“A partir de cierto punto no hay retorno. Ese es el punto que hay que alcanzar”.

Franz Kafka

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Geológicos	3
2.2 Taxonómicos.....	6
2.3 Geoquímicos	7
2.4 Tafonómicos	9
2.5 Paleoambientales.....	13
2.6 Correlación estratigráfica/bioestratigráfica	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. HIPÓTESIS	16
5. OBJETIVOS	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
6. MATERIAL Y MÉTODOS	18
6.1 Localización del área de estudio	18
6.2 Metodología.....	19
6.2.1 Gabinete 1	19
6.2.2 Campo	19
6.2.2.1 Geología.....	19
6.2.2.2 Tafonomía	20
6.2.3 Laboratorio.....	21
6.2.3.1 Análisis paleontológicos	21
6.2.3.2 Análisis taxonómico.....	21
6.2.3.3 Análisis geoquímico.....	22
6.2.3.4 Análisis tafonómico	22
6.2.4 Gabinete 2	23
7. RESULTADOS	24
7.1 Geología.....	24
7.1.1 Pozos N1SC y N2MC	24
7.1.2 Canteras en Vallecillo	28

7.2 Taxonomía	32
7.2.1 Pozos N1SC y N2MC	32
7.2.2 Canteras en Vallecillo	40
7.3 Geoquímica	51
7.4 Tafonomía	54
7.4.1 Pozos N1SC y N2MC	54
7.4.2 Canteras en Vallecillo	56
7.5 Paleoambiente	70
7.5.1 Pozos N1SC y N2MC	70
7.5.2 Canteras en Vallecillo	73
7.6 Correlación estratigráfica/bioestratigráfica	77
8. DISCUSIÓN	81
9. CONCLUSIONES	87
10. PERSPECTIVAS	90
11. BIBLIOGRAFÍA	91
12. ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elaborada bajo los criterios de identificación del Tratado de Paleontología de Invertebrados de 1971.....	32
Tabla 2. Microfósiles identificados en los núcleos de la Fm. Eagle Ford. Elaborada bajo los criterios de identificación de Cushman de 1995.....	33
Tabla 3. Rangos bioestratigráficos. Elaborada bajo los criterios de distribución cronoestratigráfica de géneros y especies identificadas.....	38
Tabla 4. Principales zonas de foraminíferos planctónicos en la Fm. Eagle Ford.	39
Tabla 5. Microfósiles identificados en las canteras de la Fm. Agua Nueva. Elaborada bajo los criterios de identificación de Cushman de 1995.....	40
Tabla 6. Rangos bioestratigráficos. Elaborada bajo los criterios de distribución cronoestratigráfica de géneros y especies identificadas.....	43
Tabla 7. Principales zonas de foraminíferos planctónicos en la Fm. Agua Nueva.	43
Tabla 8. Elaborada bajo los criterios de identificación de Moore, Raymond C., y otros editores (1953 al 2006, y en proceso), Treatise on Invertebrate Paleontology.	44
Tabla 9. Elaborada bajo los criterios de identificación de Blanco–Piñón y Alvarado–Ortega.....	44
Tabla 10. Número de muestras fósiles colectadas por grupo taxonómico.....	57
Tabla 11. Creada en base a los criterios de Fernández-López de diversos años (Fernández-López, 1981, 1988, 1997, 1997, 2000, 2001 y 2005).	58
Tabla 12. Resultados del análisis por laminilla del núcleo N1SC.	70
Tabla 13. Resultados del análisis por laminilla del núcleo N2MC.	71
Tabla 14. Resultados del análisis por laminilla de la cantera CVG-1.....	73
Tabla 15. Resultados del análisis por laminilla de la cantera CVG-2.....	74
Tabla 16. La correlación de las localidades marca las diferencias entre los afloramientos.	77
Tabla 17. Correlación de edades y texturas de las localidades analizadas.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización, de las áreas de muestreo, en el noreste de México.	18
Figura 2. Columna estratigráfica del pozo N1SC para la Fm. Eagle Ford, en el Rancho “la Esperanza” en Sabinas Coahuila, realizado en el programa SedLog 3.1.	25
Figura 3. Columna estratigráfica del pozo N2MC para la Fm. Eagle Ford en Múzquiz Coahuila, realizado en el programa SedLog 3.1.	26
Figura 4. Fotomicrografía: Imágenes “a” y “b”, representan la textura mudstone-wackestone con un porcentaje 10-20% de aloquímicos, mientras que las imágenes “c” y “d”, representan la textura tipo packstone, con porcentajes de 60-70%.	27
Figura 5. Fotomicrografía. La imagen “e” representa una textura grano-sostenida conocida como grainstone, que contiene > 90% de aloquímicos, y muy poco cemento.	27
Figura 6. Cantera 1(CVG-1), se puede ver material suelto debido a la explotación comercial de la zona. En la imagen se están colectando muestras de roca para los análisis posteriores en el laboratorio.	28
Figura 7. Columnas estratigráficas de la cantera CVG-1 de la Fm. Agua Nueva, en Vallecillo, Nuevo León, realizado en el programa SedLog 3.1.	29
Figura 8. Columnas estratigráficas de la cantera CVG-2 de la Fm. Agua Nueva, en Vallecillo, Nuevo León, realizado en el programa SedLog 3.1.	30
Figura 9. Fotomicrografía: Imagen “a” corresponde a un mudstone y “b” a un packstone.	31
Figura 10. Fotografía que muestra el levantamiento de capas en la Cantera CVG-1.	31
Figura 11. Núcleo N2MC, se aprecian los cambios de coloración entre formaciones geológica.	32
Figura 12. Imagen “a” <i>Inoceramus labiatus</i> , imagen “b” ammonoideo no identificado en muestras de corte de núcleos, Fm. Eagle Ford, Coahuila.	34
Figura 13. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Eagle Ford vistos bajo el microscopio.	35
Figura 14. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Eagle Ford vistos bajo el microscopio	36
Figura 15. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Eagle Ford vistos bajo el microscopio	37
Figura 16. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Agua Nueva vistos bajo el microscopio.	41
Figura 17. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Agua Nueva vistos bajo el microscopio.	42

Figura 18. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) <i>Placeinticeras</i> b y c) <i>Mammites nodosoides</i> d) <i>Pseudaspidoceras sp.</i> Señalado con flechas puntos clave como costillas y tubérculos.	45
Figura 19. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) <i>Pseudaspidoceras sp.</i> b) <i>Mammites nodosoides</i> c) <i>Pseudaspidoceras flexuosum</i> d) <i>Vascoceras birchbyi.</i> Señalado con flechas puntos clave como costillas y tubérculos o en el caso de la imagen “d” el contorno del ejemplar.	46
Figura 20. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) <i>Mytiloides</i> b) <i>Inoceramus labiatus</i> c) <i>Nursallia gutturosom</i> , señalado en el círculo el cráneo d) <i>Rhynchodercetis</i> señalado con flechas el cráneo y la aleta caudal.	47
Figura 21. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) orden Halecoidei b) Araripichthys, señaladas la aleta ventral y anal c) <i>Tselfatia formosa</i> , señalada con flecha la aleta dorsal d) <i>Cenomanocarcinus</i> , Señalados con flechas un pereiópodo y el plastrón torácico	48
Figura 22. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) <i>Goulmimichthys roberti</i> b) Vertebras de pez no identificado. Señalado en el círculo la mandíbula abierta con dientes, y en el rectángulo partes conservadas del intestino.	49
Figura 23. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) <i>Vallecillichthys multivertebratum</i> en capa de la cantera y b) <i>Vallecillichthys multivertebratum</i> procesado en el laboratorio. Marcado en el círculo la zona del cráneo.	50
Figura 24. Resultados de las pruebas geoquímicas EAA representa la fluorescencia de rayos x de energía dispersiva por espectrómetro de absorción atómica. y CT representa al Carbono total. La “Muestra 1” representa la cantera marcada como CVG-1 y la “Muestra 2” a la cantera marcada como CVG-2.	51
Figura 25. En ambas canteras, SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ y Fe ₂ O ₃ son elementos mayores, y el resto elementos menores.	52
Figura 26. La imagen “a” muestra la pirita en los cortes de los núcleos, mientras que en la “b” los marmoleados grises son cúmulos de hidrocarburo que arrojan un aroma muy fuerte. La imagen “c” son algunos granos microfósiles y granos con pirita y por último la imagen “d” muestra un ammonoideo con calcita.	54
Figura 27. La imagen “a” es el molde externo, la impresión de un <i>Inoceramus labiatus</i> . Las imágenes “b y c” muestran que algunos microfósiles tienen impregnación de materia orgánica en sus cámaras internas y la imagen “d” es también una mineralización con óxidos también en el interior de las cámaras.	55
Figura 28. Fotomicrografía: Presencia de óxidos en el análisis de la lámina delgada.	56
Figura 29. Gráfica en la que aparecen los grupos taxonómicos de las muestras fósiles colectadas en las canteras de Vallecillo, Nuevo León.	57
Figura 30. Conservación de sifón y disolución de concha.	59
Figura 31. Imagen 2: <i>Goulmimichthys roberti</i> . Imagen 3: acercamiento a conservación de partes blandas.	60

Figura 32. Imágenes 4 y 5 <i>Pseudoaspidoceras</i> , la imagen 6 es un <i>Mammites nodosoides</i> y la imagen 7 es el acercamiento de la imagen 5.	61
Figura 33. Imagen 8 <i>Nursallia gutturosum</i> , imagen 9 <i>Araripichthys</i> , imágenes 10 y 11 <i>Rhynchodercetis</i>	62
Figura 34. Diferentes estados de desarticulación de partes en las muestras fósiles.....	63
Figura 35. <i>Vallecillichthys multivertebratum</i> , en zona de muestreo, se observa que está fosilizado paralelamente al estrato de sedimentación. Además, se pueden ver los colores rojizos que indican la presencia de óxidos en la zona.....	64
Figura 36. Imagen 16: molde externo. Imagen 17 y 19: concreción de óxidos en fragmentos de vertebras. Imagen 18: concreción de óxidos en <i>Inoceramus labiatus</i>	65
Figura 37. Desarticulación de vertebras y espinas de peces.	68
Figura 38. Diagrama de zonas de facies y tipos estándar de microfacies. Marcado con una flecha aparece señalado la zona de cuenca profunda, a la que pertenecen los núcleos N1SC y N2MC, de la Fm. Eagle Ford, en Coahuila, México.....	72
Figura 39. Diagrama de zonas de facies y tipos estándar de microfacies. Marcado con una flecha aparece señalado la zona de plataforma externa, justo bajo la zona de oleaje, característica que favorece la conservación fósil de la localidad, en las canteras CVG-1 y CVG-2 en Vallecillo, Nuevo León, México.	76

RESUMEN

Se seleccionaron 2 localidades del Cretácico Superior del noreste de México, la Formación Eagle Ford correspondiente a Coahuila y la Formación Agua Nueva en el estado de Nuevo León. Se muestrearon tomando datos diagnósticos *in situ* y se hizo colecta de muestra de roca y material fósil en cada una de ellas, que fue posteriormente procesada en el laboratorio. La muestra de roca se trabajó conforme a la técnica de lámina delgada para poder hacer identificaciones taxonómicas de microfósiles, y poder también conocer las texturas de cada localidad, para que, al sumar estos dos procedimientos, identificar así la microfacie y poder determinar el ambiente de depósito. Esto sirvió también para hacer uso de los fósiles índice y datar la edad específica de cada afloramiento. Por último, se realizaron 2 pruebas geoquímicas a un par de muestras de la localidad de Vallecillo. Por su parte el material fósil fue identificado de acuerdo con su grupo taxonómico y, además, se analizó conforme a los mecanismos tafonómicos presentes en las áreas de muestreo. Por último, se compararon los resultados de las dos Formaciones analizadas y se realizó una reconstrucción paleoambiental de los ambientes previos a la sedimentación de la roca. Como conclusiones generales se determinó que las formaciones tienen diferencias en el rango de edad, que no tienen el mismo ambiente de depósito pero que ambas sufrieron condiciones de anoxia bajo situaciones diferentes.

ABSTRACT

Two localities were selected from the Upper Cretaceous of northeastern Mexico, the Eagle Ford Formation corresponding to Coahuila and the Agua Nueva Formation in the state of Nuevo Leon. They were sampled taking in situ diagnostic data, and, rock and fossil material samples were collected in each one of them, which were later processed in the laboratory. The rock sample was worked according to the thin film technique in order to make taxonomic identifications of microfossils, and also to know the textures of each locality, so that, by adding these two procedures, the microfacies could be identified and the depositional environment could be determined. This also served to make use of the index fossils and to date the specific age of each outcrop. Finally, 2 geochemical tests were carried out on a couple of samples from the Vallecillo locality. The fossil material was identified according to its taxonomic group and was also analyzed according to the taphonomic mechanisms present in the sampling areas. Finally, the results of the two Formations analyzed were compared and a paleoenvironmental reconstruction of the environments prior to the sedimentation of the rock was carried out. As general conclusions it was determined that the formations have differences in the age range, that they do not have the same depositional environment but that both suffered anoxic conditions under different situations.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el Cretácico Superior, en el territorio norte de México, se acumularon grandes cantidades de sedimentos finos provenientes de la erosión de las masas continentales cercanas a las cuencas. Con el tiempo, dichos sedimentos, se depositaron en el fondo marino para luego petrificarse y formar roca muy densa y compacta, dando lugar a las diferentes Formaciones Geológicas.

Para esta investigación se seleccionaron 2 afloramientos de la Fm. Eagle Ford en el estado de Coahuila, el llamado N1SC en Sabinas, y el N2MC en el municipio de Múzquiz. La otra sección analizada corresponde al estado de Nuevo León en dos canteras del mismo afloramiento de la Fm. Agua Nueva, en el municipio de Vallecillo. Ambas Formaciones corresponden a edades del Cenomaniano-Turoniano (entre 100.5 m.d.a. y 89.8 m.d.a.), y al ser formadas por sedimentos marinos y tener un proceso de litificación en zonas geográficas distintas, además de formarse bajo condiciones globales similares, por lo que la abundancia de rocas de tipo caliza y lutita es muy abundante. Haciendo uso de la identificación de las biozonas y fósiles índice como los foraminíferos y el bivalvo *Inoceramus labiatus*, se dató a mayor precisión las edades específicas para cada afloramiento.

La implementación de la técnica de lámina delgada, que implica el procesado de la roca a grosores milimétricos, permite identificar diversos parámetros como las taxa microscópicas, las texturas (Dunham, 1962) y sumadas las dos anteriores se pueden identificar las microfacies (Folk, 1962, Wilson, 1975, Flügel, 1982) y posteriormente el ambiente de depósito, que nos ayudan a establecer la zona en la que se sedimentaron los estratos colectados para esta investigación.

A un par de muestras de la localidad de Vallecillo, 1 de la cantera CVG-1 y otra para la cantera CVG-2 se le realizaron pruebas geoquímicas (el método de fluorescencia de rayos x de energía dispersiva por espectrómetro de absorción atómica y el carbono total), que, aunque los resultados indican ciertas condiciones, el hacer un análisis preciso de todos los elementos y como cambian en los estratos fue una limitación debido a los costos

que representan las pruebas de este tipo, motivo por el cual su implementación sigue siendo pobre en estudios geológicos/paleontológicos.

El otro elemento que también se colectó y que fue la parte fundamental de este trabajo, es material fósil, el cual se analizó de acuerdo con las técnicas implementadas por Fernández-López para determinar los mecanismos de alteración tafonómicas por los que pasó cada ejemplar desde el momento de su muerte hasta el punto de ser colectados. Este objetivo también se vio ligeramente afectado, debido a que la cantidad de material de las localidades no fue la misma, aunque esto no evitó que se hicieran interpretaciones tafonómicas de todas las localidades.

Por último, se integraron todos los resultados de las dos formaciones y se correlacionaron, concepto que en paleontología significa hacer una comparación de todos los puntos reportados para generar una interpretación de las condiciones que estaban pasando tanto en la zona de depósito y posterior litificación de los estratos, como en el ambiente en el que se distribuía la vida previa a la muerte de los organismos que ahora reportamos como fósiles, esto último mencionado es la culminación del proyecto con la interpretación paleoambiental.

2. ANTECEDENTES

2.1. Geológicos

El Cretácico Superior del norte de México acumuló extensos espesores de sedimentos finos provenientes de la erosión de zonas continentales cercanas a las cuencas. Dichos sedimentos finos, a través del tiempo geológico, se depositaron en el fondo del mar para posteriormente petrificarse y formar roca densa y compacta, originando acumulaciones rocosas que son designadas con diferentes nombres, por ejemplo, Formación Eagle Ford en Coahuila y Formación Agua Nueva en Nuevo León. (Longoria-Treviño, 2015).

La Fm. Agua Nueva fue descrita por primera vez por Stephenson, en el Cañón de la Borrega en Tamaulipas en el año de 1922. Posteriormente Muir (1936) estudió esta unidad en detalle en la región de Tamaulipas y demostró que su localidad tipo se encuentra cerca del rancho Agua Nueva. Si bien tiene diferentes interpretaciones litológicas y un pasado complejo que ha ido cambiando a lo largo de los años, en el norte de México se mencionarán algunas descripciones del Servicio Geológico Mexicano (sin fecha): originalmente descritas como 61m. a 91 m. de caliza, con pedernales, salpicado de pizarra carbonosa negra. En el Cañón de La Borrega, está compuesto por 60 a 90 metros de caliza, siendo esta muy delgada y presentando intercalación con lutitas carbonáceas negras, más tarde, se reportó la presencia de capas de bentonita. El subsuelo en la parte sur de la "Faja de Oro" se describe como roca caliza criptocristalina gris y de color marrón claro, denso, ligeramente arcilloso, lutita negra en capas, bentonita verde claro y nódulos de pedernal negro. En el Cañón de Santa Rosa, Nuevo León, fueron identificadas dos unidades, usando como referencia el porcentaje y tipo de aloquímicos: la Unidad I, con 29 m de espesor formada por caliza de textura wackestone de coloraciones gris oscuro a negro. Las capas son principalmente delgadas con algunos estratos gruesos en la zona basal. La unidad contiene además abundantes intercalaciones de wackestone físil y lutita calcárea de colores negro a café-oliva. La Unidad II, es de 80.5 m de espesor y está formada por packstone de foraminíferos, con laminación, en color gris oscuro y wackestone con radiolarios, calciesférulas, moluscos, ostrácodos y fragmentos de cefalópodos. Las capas son delgadas a gruesas, e intemperizan a color gris en tonalidades claras; hacia la parte

superior se presenta ligera bioturbación. Interestratificaciones de roca wackestone físil y lutita calcárea de color negro se ven con abundancia. En Nuevo León, la unidad está constituida en la zona inferior por caliza en estratos que van de delgados a medianos, de colores que cambian de gris oscuro a negro, con abundante contenido de globigerínidos, los cuales se presentan intercalados con lutita calcárea en capas delgadas laminares. En la parte media y superior hay calizas y calizas arcillosas de color gris oscuro en capas delgadas a medias que contienen nódulos de pedernal, alternando con lutitas y algunas calizas algo arenosas en capas delgadas a medianas, que presentan estructuras laminares. Generalmente predominan los colores grises y gris oscuro; la estratificación de las capas va de delgada a media en la zona basal y laminar en las zonas media y superior. Son comunes los espesores medio y grueso en las lutitas y las margas.

Santamaría *et al.* (1990), reportan que la Formación Agua Nueva está formada por capas de roca caliza en colores amarillo oscuro, gris y gris oscuro, generalmente estas rocas son arcillosas, y en menor proporción se pueden observar caliza negra carbonosa y caliza de color gris, con microfauna planctónica, que se intercalan con capas de lutita negra con estratificación laminar, y con algunas capas de bentonita de color gris y gris verdoso. También se mencionan la presencia nódulos de pedernal negro de tamaño pequeño. La caliza puede encontrarse en coloraciones verdes, posiblemente por la presencia de glauconita.

Por su parte Blanco-Piñón *et al.* (2001), mencionan que las capas fosilíferas de Vallecillo alcanzan un espesor visible de 4 m y están formadas de margas de colores rosados con espesores de 5-10 cm, con laminación milimétrica y paralela a los estratos. Dicho autor infiere que el color rosa es consecuencia de la goethita que está entre láminas de 1 mm de espesor. Las margas se reportan como un mudstone de origen calcáreo, con aproximadamente 65 % de carbonatos y se presentando fracturas paralelas al plano de estratificación formando lajas de pocos centímetros de espesor. Estas capas están intercaladas con bancos de lutita laminar de entre 2 a 6 cm. La secuencia fosilífera subyace a calizas grises de 30 cm y lutitas que pertenecen a la Fm. Agua Nueva.

Igualmente, Blanco-Piñón (2003), menciona que en Vallecillo aflora una secuencia de calizas de un color gris oscuro y lutitas calcáreas laminares en capas individuales de

alrededor de 30 cm de espesor; y que al menos 4 metros son margas rosadas (las que propone como "Miembro Vallecillo"), laminadas con un espesor aproximado de 6 cm y capas medias de lutitas de 3 cm de espesor. Por último, el autor indica que, aunque el área ha sido descrita como las Formaciones Agua Nueva, Eagle Ford e Indidura en otros trabajos, las características litológicas no corresponden.

Carrillo-Bravo (1971) encontró que, en condiciones sedimentarias inestables, se producen cambios rítmicos de lutitas y calizas arcillosas cerca de los ambientes costeros como fuente de materiales terrestres. Padilla y Sánchez (1978) afirma que esta unidad representa el ambiente sedimentario normal de aguas interiores y marinas entre los mares del Turoniano, aunque en el noreste mexicano eran más profundos. El personal de PEMEX (1988) mencionan que estos sedimentos se depositaron en diferentes ambientes debido a sus características petrográficas y contenido de vida silvestre. De manera similar, la presencia de material geológico sugiere vulcanismo moderno en el lado del Pacífico, correspondiente a un arco de magma, que refleja la subducción de la Placa de Farallón en América del Norte (Servicio Geológico Mexicano, sin fecha).

La Fm. Eagle Ford se mencionó por primera vez en el Registro Geológico de Texas en 1852, Roemer lo describió como una lutita negra con fósiles de peces, después Hill la describió en 1887 y nombró la unidad como una secuencia de lutita azul en las regiones inferiores, siendo Eagle Ford, en Dallas, la localidad en donde se realizaron dichas descripciones. Con la parte superior e inferior expuestas. Sellards *et al.* (1966) utilizan el rango de grupo para la unidad, aunque previamente Albritton (1941) la considera como Fm. Eagle Ford (Servicio Geológico Mexicano, 2016).

Según la descripción de la roca realizada por el Servicio Geológico Mexicano (2016) la unidad comprende lutitas arcillosas que van de azul en la zona superior, a amarillo en la zona media y azul en la base. En México se describe como lutitas calcáreo-carbonosa fisiles y laminares quebradizas, de colores gris oscuro y café claro con capas de caliza arcillosa de estratificación de pocos cm de espesor. Otra descripción aceptada es caliza delgada, arcillosa de color gris claro que intemperiza a color amarillento intercalado con lutita calcárea de color gris oscuro que intemperiza a color gris claro, gris pistache y café claro, que intemperiza de pardo oscuro a color blanquecino. También hay lutitas de

colores grises claro y pistache con café claro, que intemperizan a beige casi blanco. Existen los horizontes laminares que se presentan en capas de 2, 5 y 10 cm y algunos de hasta 40 cm de potencial de prospección. Calizas de textura wackestone, en horizontes laminares de apariencia lajosa. En la Cantera de la Mula, la unidad se forma de marga laminada y no laminada, intercalada con calizas grises y limolita anaranjada; la marga tiene una coloración crema en muestra fresca y crema en tonos amarillentos en muestra intemperizada. Históricamente, esta Formación se ha estudiado más en afloramientos, sin embargo, los estudios del subsuelo recientemente se han realizado con los registros y núcleos para comprender los hidrocarburos presentes (Martínez-Contreras, 2015).

Para su ambiente de depósito, Santamaría *et al.* (1991) interpretan por la microfauna reportada, indica que la formación se depositó en un ambiente de cuenca. Sin embargo, por sus características litológicas y contenido faunístico, también se considera que se depositó en un ambiente marino relativamente somero, de circulación restringida, probablemente con una influencia de plataforma externa (PEMEX, 1988; Santiago-Carrasco *et al.* 1998, 2002b; Escalante-Martínez *et al.* 2002), con aporte de material clástico fino, en condiciones corrientes de turbidez (GYMSA, 2003). Lo anterior durante las últimas etapas de la transgresión regional que cubrió gran parte del actual territorio mexicano (González-García y Holguin-Quñones, 1992).

2.2 Taxonómicos

En la Fm. Agua Nueva, el Servicio Geológico Mexicano (sin fecha), realizó un compilado de información y reporta lo siguiente para el contenido paleofaunístico: *Inoceramus labiatus*, e *Inoceramus hercynicus* (en Muir, 1936); *Inoceramus labiatus*, escamas y dientes de peces, *Heterohelix sp.*, *Pithonella ovalis* *Rotalipora sp.* *R. appenninica*, *Calcisphaerula innominata*, *Globotruncana sp.*, (en Carrillo-Bravo, 1971); *Phylloceras sp.*, *Mantelliceras sp.*, *Rotalipora sp.*, *Rotalipora appenninica*, *Rotalipora turonica*, *Hedbergella sp.*, *Marginotruncana indica*, *Marginotruncana renzi*, *Marginotruncana canaliculata*, *Pithonella ovalis*, *Calcisphaerula innominata*,

Stomiosphaera sphaerica, *Marginotruncana difformis*, *Whiteinella archaeocretacea*, *Globotruncana*, (en Soto, 1980).

Ifrim y Stinnesbeck (2007) describen la presencia de ammonites como *Tragodesmoceras bassi*, *Quitmaniceras reaseri* *Watinoceras coloradoense*, *Pseudaspidoceras pseudonodosoides*, *P. flexuosum*, *Mammites nodosoides*, *Vascoceras birchbyi*, *Fagesia catinus* y *F. superstes*. Seibetz y Buitrón (1988) consideran la existencia de cefalópodos del género *Mammites* y moluscos del género *Inoceramus*. Blanco-Piñón (2003), y después Blanco-Piñón *et al.* (2003; 2005; 2007) notificaron algunos tiburones (lamniformes como *Chondrychthyes* y *Elasmobranchii*), ammonites como *Watinoceras coloradoense* y *Pseudoaspidoceras*, además del género *Ptychodus*. Se han reportado *Elasmobranchii indet*, *lamniformes indet*, *Nursallia gutturosum*, *Ichthyodectoidei*, *Pachyrhizodontoidei*, *Goulmimichthys roberti*, peces del orden Halecoidei, peces Dercetidae de los géneros *Rhynchodercetis* y *Tselfatia*.

Para Eagle Ford, el Servicio Geológico Mexicano (2016) recopiló información de diversos autores y menciona lo siguiente: contiene abundantes foraminíferos planctónicos como *Rotalipora sp.*, *Hedbergella cf. H. simplex*, *Globotruncana sp.*, *Globotruncana cf. G. linneiana* (en GYMSA, 2003), *Praeglobotruncana estefani*, *Clavihedbergella sp.* *Heterohelix sp.* (en Santamaría *et al.*, 1991) *H. pulcra*, *H. cf. Moremanni*, *Dicarinella sp.*, *Gobigerinelloides sp.*, (en PEMEX, 1988; Santamaría *sp cit.*), *Clavihedbergella moremani*, *Hedbergella sp.* *Whiteinella sp.*, *Heterohelix reussi* (PEMEX *op cit.*), así como macrofauna de *Inoceramus labiatus* e *I. sagensis* (en PEMEX *op cit.*; González-Ramos *et al.*, 1997; Escalante-Martínez *et al.*, 2002; GYMSA, 2003). También, se ha reportado la presencia de fósiles de peces del género *Saurodon*, otro Ichthyodectiforme distinto, clupeomorfos, *Nursallia sp.*, *Tselfatia sp.*, *Goulmimichthys*, *Enchodus sp.*, *Laminspondylus sp.* y *Aspidopleurus Kickapoo*.

2.3 Geoquímicos

Schönbein, en los 1830, utilizó por primera vez el término geoquímica. Los estudios pioneros sobre la composición química de la Tierra se originaron a mediados del siglo

XIX y, desde ese momento, la implementación de pruebas geoquímicas ha sido parte esencial del estudio de los sedimentos (Twenhofel, 1926 y 1950; Pettijohn, 1949; Trask, 1955; Pettijohn *et al.* 1987). Después de concluir la Segunda Guerra Mundial, floreció la utilización de técnicas geoquímicas, centrándose especialmente en la solución de problemáticas referentes a sedimentos y geología (Degens, 1965; Garrels y Mackenzi, 1971).

A principios del siglo pasado, la extracción de hidrocarburos y sus derivados se volvió un objetivo importante de la geología (Volkman, 1999), pero, en México, no fue hasta 1966 que el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) inició proyectos en los que combinaban parámetros químicos con el ambiente geológico y desde la década de los 80 hasta el día de hoy, el IMP y PEMEX han trabajado juntos para brindar una interpretación integral de las cuencas que presentan hidrocarburos en nuestro país, con el propósito de explorar y explotar dichos compuestos (Fuentes-Pacheco, 2004).

Ramas como la geoquímica de sedimentos y rocas, geoquímica orgánica, geoquímica de isótopos, paleontología y bioestratigrafía aplicadas a la interpretación de ambientes del pasado surge durante la década de los ochenta. Estos estudios permiten identificar los parámetros físicos y químicos característicos de las condiciones paleoambientales. (Ángeles-Cruz, 2006).

Trabajos como los de Demaison y Moore (1980), iniciaron el camino en el conocimiento y comprensión de los ambientes sedimentarios de la materia orgánica y de la determinación de los factores que favorecen su acumulación y preservación de los sedimentos y rocas que se analizan (Permanyer, sin fecha).

La utilización de herramientas geoquímicas ayuda a determinar la constitución química y mineralógica de sedimentos y rocas de origen sedimentarias, además de rasgos como la textura, edad del depósito de los sedimentos procedentes de la erosión de rocas precursoras y también a determinar los cambios que atraviesan a lo largo del ciclo sedimentario, con el propósito de entender la relación que existe entre la composición de la roca de origen del sedimento y la de la roca que resulta de la litificación de este (González-Moreno *et al.* 2012).

Diversos trabajos mencionan que, en la secuencia del Cretácico, las Formaciones Eagle Ford y Agua Nueva tienen un comportamiento geoquímico similar en cuanto a su contenido de carbono orgánico, superior a 1% y valores considerables de Sg (hidrocarburos potenciales) en gran cantidad de las muestras, lo que permite denominarlas rocas generadoras de hidrocarburos. Estas rocas están conformadas por calizas arcillosas y arcillas calcáreas depositadas sobre una plataforma abierta y extensa, en las últimas etapas de la transgresión regional que cubrió la mayor parte del actual territorio mexicano (González-García y Holguin-Quiñones, 1992).

Particularmente, en la zona de Vallecillo, Ifrim (2006) menciona los elementos trazas abundantes en la formación CaO, Sr, Zr, Ba, Ni y Pb, y relaciona su presencia con su origen de formación, los primeros 3 orgánicos, Ba y Ni, de origen mineral detrítico. Por último, el Ni y el Pb se relacionan con los sulfuros precipitados de actividad orgánica. También menciona la presencia de Mn, que se asocia a condiciones de bajo oxígeno, y la abundancia de Ni existe cuando la materia microbiana en descomposición encuentra condiciones anaeróbicas poco después o durante la deposición.

Un último tipo de elementos mencionados son los de origen calcófilo, que se acumularon en los sedimentos de Vallecillo por precipitación como sulfuros y mantuvieron su espectro de oligoelementos inicial, aunque luego se transformaron en óxidos de Fe. Esto refleja una química del agua de mar que es notablemente diferente de la composición normal, llegando nuevamente a la conclusión de que existía una oxigenación baja en el fondo marino.

2.4 Tafonómicos

Gómez-Espinosa y Gío-Argaez (2009) dicen que la aplicación de análisis tafonómicos ayudan a reconstruir la diversidad de fauna paleoambiental y los procesos de sucesión que atravesaban las comunidades, además de contribuir a entender los datos y procesos que presenta el registro fósil para poder aplicarlos a cuestiones paleobiológicas y paleoecológicas, ya que uno de los principales puntos que se consideran es el tiempo

promedio de acumulación de los restos que forman un yacimiento y la fidelidad del registro fósil.

Fernández-López (2001) nos dice que la tafonomía es un subsistema conceptual de la paleontología que tiene el objetivo de entender cómo se produce y que modificaciones experimenta el registro fósil. Este concepto fue propuesto por el paleontólogo ruso Iván Antónovich Yefrémov, comúnmente conocido solo como Efremov, quien, en 1940, a partir de las palabras griegas “taphos” (enterramiento) y “nomos” (ley), determinó literalmente “las leyes del enterramiento” (Fernández-López, 1988). Para poder interpretar la conservación del registro fósil y de los mecanismos de fosilización hay que tomar en cuenta el origen de los elementos tafonómicos y los cambios ambientales a los que estos fueron sometidos, además de los procesos sucesivos y todas las modificaciones que experimentaron los tafones hasta el momento previo a ser descubiertos y posteriormente colectados (Fernández-López, 2005). Asimismo, se pueden distinguir dos divisiones dentro de la Tafonomía: La bioestratinomía y la fosildiagénesis. La primera se ocupa de los procesos experimentados por un organismo después de su muerte y antes del enterramiento (Lawrence, 1979), y la segunda se encarga de estudiar los procesos que ocurren después del enterramiento de los restos (Fernández-López, 1981, 1999). El proceso tafonómico inicia desde que muere un individuo, y se deben de considerar como punto de partida las asociaciones biológicas del área (la biocenosis), durante esta etapa son las características biológicas de cada grupo taxonómico las que determinan la probabilidad de preservación del resto (Fernández-López, 2000). Por ejemplo, los vertebrados tienen mayor probabilidad de fosilizar que los invertebrados, y, a su vez, los invertebrados de cuerpos blandos tienen aún menor probabilidad de formar parte del registro fósil.

El proceso tafonómico da inicio con la acumulación de los restos de una zona (tanatocenosis), aquí se da una segunda selección de las formas orgánicas originales. Durante este proceso en el que se acumulan los restos se incorporan factores biológicos, geológicos y fisicoquímicos. Posteriormente sucede el enterramiento de los restos orgánicos (tafocenosis). Es en esta etapa que puede suceder el transporte de los restos (Fernández-López, 2000). Posteriormente sigue la etapa de la fosilización, en la que se

eliminan las formas sin esqueleto. Finalmente tenemos la orictocenosis (asociación de fósiles).

La disolución o preservación del esqueleto depende del mineral, pues facilita que los restos orgánicos se conserven como evidencia (Behrensmeyer, 1984). La mineralización ocasiona cambios en la composición original del esqueleto, ya sea por adición de nuevos minerales o reemplazo de minerales que ya estaban.

Es común que el calcio y sílice presentes precipiten y conserven los restos enterrados, aunque esto depende de las condiciones ambientales que pueda haber formación de pirita, fosfato o pedernal (Behrensmeyer, 1984). La recristalización involucra el cambio de textura, ya sea de forma, orientación o en el tamaño de los componentes minerales de los restos, si ocurre crecimiento de los cristales, los restos pueden romperse o deformarse; en cambio si los cristales minerales reducen su tamaño a formas microcristalinas, los restos se preservan (Behrensmeyer, 1984).

El trabajo en la zona de estudio, que realizó Blanco-Piñón (2003), indica que, en la región de Vallecillo, las partes refractarias (o resistentes a los procesos de descomposición orgánicos) tuvieron diferentes procesos de preservación debido a la diferente composición química presente entre los grupos. Por ejemplo, aquí la importancia del grupo taxonómico, pues mientras las conchas de los invertebrados se presentan recristalizadas o con disolución, los esqueletos de vertebrados muestran sustitución por carbonato de calcio. También se reportan organismos relativamente bien articulados (que sus partes permanecen en orden), aunque la desarticulación no es rara, y poca preservación de partes blandas y escamas. Los ammonites presentan sedimento encajados que rellenan la concha parcialmente (en otras palabras, se disuelve la concha durante el proceso y esto se ve como un molde con aplastamiento). Se reporta cementación de los vertebrados y neomorfismo en ejemplares de bivalvos (*Inoceramus sp.*) Los procesos de reemplazamiento se observan en los ejemplares de peces, por ejemplo, al ser completamente sustituido el fosfato de calcio por carbonatos. Ejemplos que menciona son que las escamas de algunos Pycnodontes e Ichthyodectiformes fueron reemplazados por calcita, o que en ejemplares de Ichthyodectiformes y Tselfatiformes, el mineral que integra partes como las escamas es principalmente óxido de hierro y no calcita. Para el caso de partes blandas, la

conservación de las vísceras representa un caso dudoso de reemplazamiento o cementación. En ejemplares, los ciegos intestinales presentan una preservación muy similar a la de las estructuras óseas que fueron reemplazadas por calcita. Por último, el autor menciona que la desarticulación en la paleobiota de Vallecillo es la acción de necrófagos por indicios de actividad en algunas espinas y vertebras de ejemplares de peces.

Por otro lado, Stinnesbeck *et al.* (2020) hacen un análisis tafonómico de la especie *Goulimimichthys roberti*, y mencionan la abundancia de individuos completos y articulados en las áreas de Vallecillo, Nuevo León y Múzquiz, Coahuila. Ellos indican que los individuos se conservan con la boca abierta y las aletas dorsal, pectoral y pélvica extendidas y lo interpretan como el resultado del estrés respiratorio, probablemente provocado por las condiciones de deficiencia de oxígeno en el lecho marino de Vallecillo, debido a que esto reflejar la agonía de los individuos que luchan contra la muerte en niveles anóxicos profundos de la columna de agua. Las condiciones anóxicas del agua excluyen a los carroñeros, lo que probablemente favoreció la buena conservación de los peces de Vallecillo.

Ifrim, y Stinnesbeck (2007) analizaron ammonoideos de Vallecillo y mencionan la presencia de organismos alóctonos debido al desplazamiento del cadáver desde la zona de muerte. Ellos infieren que la falta del áplicus, una parte blanda que se encontraba en la entrada de la cámara habitación de los ammonites son un fuerte indicador del desplazamiento de los cadáveres. Aunque también explican que la buena conservación de las conchas y la presencia de suturas en los moldes son indicadores de que el desplazamiento del cadáver era de distancias relativamente cortas y no sufría alteraciones importantes. Además, mencionan la una profundidad crítica de 200 m, en donde la presión hidrostática ayudó a enterrar rápidamente al organismo muerto.

Los mismos autores indican que la ausencia de ammonites pequeños, por otro lado, es considerado un artefacto de conservación debido a la disolución diagenética temprana. Los ammonites mayores de 100 mm están bien conservadas

2.5 Paleoambientales

La interpretación del paleoambiente se logra integrando la estratigrafía de la Formación y la identificación taxonómica de las muestras colectadas. Para hacer inferencias paleoecológicas es indispensable un estudio tafonómico, que indique la proximidad de la asociación a una paleobiocenosis. Así, cuanto más próxima esté la asociación al modelo de paleobiocenosis, más útil será para realizar la interpretación paleoecológica tal y como los mencionan Albesa *et al.* (1997). Con esto, analizando la relación entre el hábitat y la fauna, la fragmentación y alteración litológica, la densidad y orientación del registro fósil y las características sedimentológicas de las muestras de roca, es como se obtiene la interpretación precisa de un paleoambiente.

Santamaría-Orozco *et al.* (1991) hace uso de la e indica que la Fm. Eagle Ford se depositó en un ambiente de cuenca. Morales-Juárez (2019) dice que la cuenca de depósito presentaba condiciones pobres de oxígeno y un alto contenido de sulfuro de hierro (pirita), que muy comúnmente se aprecia reemplazando microfósiles de manera parcial o total, y en ocasiones en un estado de oxidación. Una recopilación de PEMEX (1988) menciona que la Fm. Agua Nueva, se depositó en ambientes que varían de plataforma externa a cuenca, claro está, dependiendo las características de la fauna asociada.

Tampoco debemos olvidar la posición geográfica y las condiciones ambientales de la zona, en relación espacio/tiempo pues, también son importantes para la interpretación ambiental. La paleogeografía de Texas y el noreste de México durante el Turoniano, implica que el estado de Nuevo León estaba cubierto por depósitos pelágicos (Formación Agua Nueva), mientras que en Texas secuencias de facies costeras (Formación Eagle Ford) fueron depositadas (Padilla y Sánchez, 1982). Tiempo después, Sohl *et al.* (1991) demuestran que la línea de costa al tiempo del depósito de los sedimentos se encontraba en la región sur del estado de Texas. Blanco-Piñón (2003) indica que entre el área actual de Vallecillo y la hipotética línea de costa existió una distancia de aproximadamente entre 700 a 800 Km., quedando la localidad lejos de la influencia de corrientes que favorecieran el movimiento de las aguas. El mismo autor es el primero en mencionan que el afloramiento de Agua Nueva en Vallecillo podría pertenecer a una localidad Konservat-Lagerstätte, por la presencia de sifón en un ejemplar de ammonoideo, propuesta que

después fue retomada en trabajos posteriores de autores alemanes como Ifrim y Stinnesbeck (2007) y Stinnesbeck, *et al.* (2020).

2.6 Correlación estratigráfica/bioestratigráfica

Una de las funciones de la estratigrafía es establecer la correspondencia entre zonas geográficamente separadas de una misma unidad geológica. Es una de las técnicas de mayor interés ya que se utiliza para comparar dos o más secciones de un intervalo de tiempo semejante, a partir de alguna propiedad definida. Las correlaciones estratigráficas de dos o más secciones relativamente próximas entre sí permiten reconstruir la geometría de la cuenca en la que se depositaron las unidades litoestratigráficas, además de saber los eventos geológicos sucedidos, y, con esto, reconstruir la historia geológica de nuestro planeta. Gracias a esta importante herramienta, es posible establecer relaciones de tiempo y continuidad, y correlacionar depósitos en lugares distantes que van desde municipios vecinos hasta países separados por océanos (Barragán *et al.* 2010). La unidad bioestratigráfica básica es la biozona, y estos son cuerpos rocosos caracterizados por su contenido fósil, que se hace de una selección de fósiles entre grupos de corta duración, pero de amplia distribución geográfica, entre otros factores para tener en cuenta, entonces dichas biozonas permiten justificar las correspondientes divisiones cronológicas (Fernández-López, 1988).

La Fm. Agua Nueva se correlaciona con la Formación Hendidura, especialmente en la Sierra de Parras (López-Ramos, 1979). En cuanto a la Fm. Eagle Ford, se correlaciona en tiempo con las formaciones Agua Nueva e Indidura (Santamaría *et al.* 1991).

Por último, Stinnesbeck, *et al.* (2020) hacen una comparación de justo la edad Cenomaniano-Turoniano en el noreste de México y analizan las diferencias del pachyrhizodonte *Goulimichthys roberti*, en donde indican que las condiciones de sedimentación difieren en que la ausencia de oxígeno tiene un origen distinto, en Vallecillo por condiciones meramente anóxicas de las aguas, y en Múzquiz, Coahuila por rápida fosfatación y cobertura de las canales por sedimentos de lodo blando.

3. JUSTIFICACIÓN

Los estudios que integran análisis tafonómicos permiten reconstruir la composición faunística, paleoambiental y los procesos de sucesión de comunidades, además de ayudar a entender los datos y procesos que presenta el registro fósil para poder aplicarlos a cuestiones paleobiológicas y paleoecológicas. La implementación de pruebas geoquímicas amplía el espectro de exactitud, dado que proporciona datos exactos sobre la composición química de muestras de roca, otorgando una interpretación ambiental y recreación paleoambiental del yacimiento fosilífero.

Las empresas de exploración de hidrocarburos y de minería se ven inmediatamente beneficiadas por estos estudios, pues a su vez, se arroja información de la presencia de productos de importancia económica y energética. Además de esto, los estudios paleoecológicas son una herramienta que está tomando mucha fuerza en los modelos de proyecciones de cambio climático.

4. HIPÓTESIS

Las características bajo las que sedimentó la roca de las Formaciones Eagle Ford y Agua Nueva y los componentes geoquímicos del sedimento determinan la conservación y el estado del material fósil.

5. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar las rocas de las dos formaciones muestreadas, para determinar las condiciones tafonómicas del material fósil encontrado y las condiciones en las que se preservó la materia orgánica.

Objetivos Específicos

- Determinar la microfacie en base a la técnica de lámina delgada.
- Determinar la edad específica en base a la identificación de fósiles guía.
- Realizar análisis de las muestras de roca mediante el método de fluorescencia de rayos x de energía dispersiva por espectrómetro de absorción atómica y el carbono total.
- Elaborar un análisis tafonómico parcial que permita la caracterización de las paleobiotas.
- Correlacionar tafonómica y geoquímicamente las áreas de muestreo, con la preservación de los restos fosilizados.
- Interpretar el paleoambiente de la secuencia de rocas de las Formaciones Eagle Ford y Agua Nueva.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Localización del área de estudio

El área de estudio se divide en dos localidades, la primera sección perteneciente al Noreste del estado de Coahuila y la segunda en el Norte del estado de Nuevo León.

En el municipio de Sabinas Coahuila, se localiza el “Rancho la Esperanza” de donde se extrajo el núcleo N1SC, entre las coordenadas $28^{\circ}01'40.3''$ N y $101^{\circ}05'31.7''$ O. Del municipio de Melchor Múzquiz, hacia el “Rancho Nerio”, se realizó la barrenación y posterior toma del núcleo N2MC con las coordenadas $27^{\circ}56'43.43''$ N y $101^{\circ}32'49.41''$ O. La segunda localidad situada en el municipio de Vallecillo, Nuevo León, correspondiente a una propiedad privada que actualmente es explotada para comercializar la famosa “piedra de Vallecillo” y se encuentra en las coordenadas $26^{\circ}39'34.80''$ N y $99^{\circ}59'12.68''$ O.

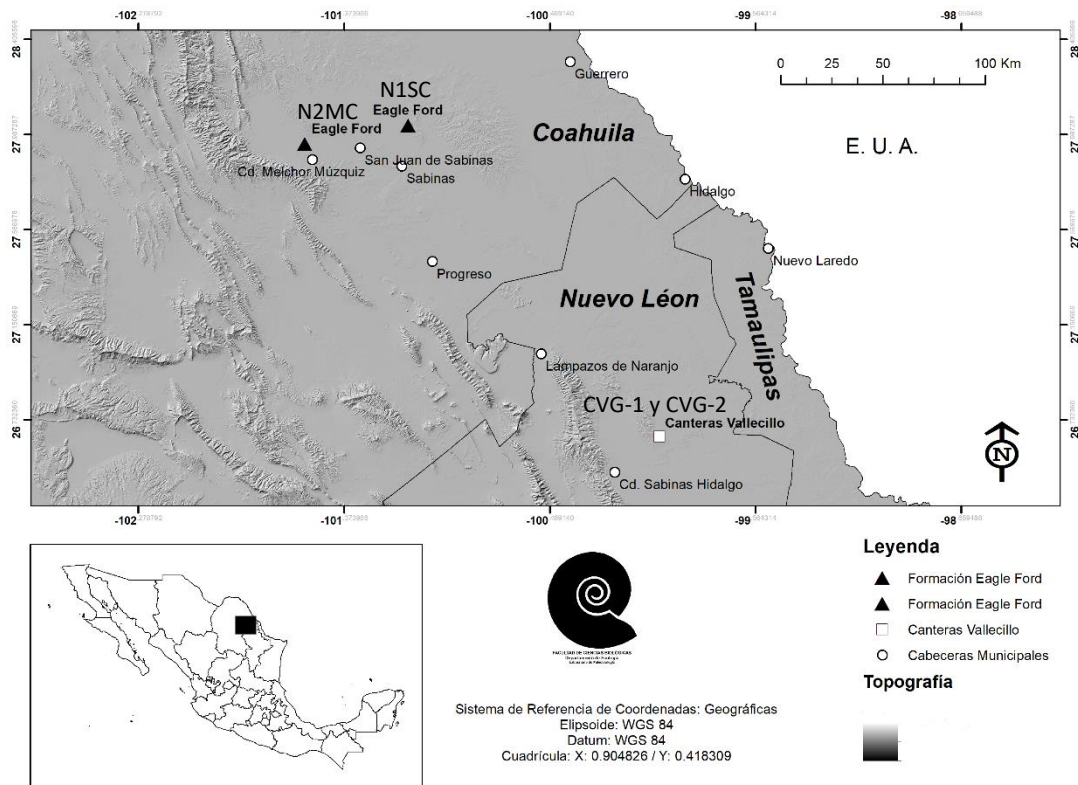


Figura 1. Mapa de localización, de las áreas de muestreo, en el noreste de México.

6.2 Metodología

La metodología de esta investigación está dividida en: gabinete 1, fase de campo, fase de laboratorio y gabinete 2

6.2.1 Gabinete 1

En esta fase se decidieron las localidades en las que se trabajó, también se consulta literatura, métodos de colecta, pruebas de laboratorio y se revisaron permisos de acceso a las localidades.

6.2.2 Campo

Esta fase se divide en 2 partes: la geología y la tafonomía.

6.2.2.1 Geología

Se realizaron 3 salidas a campo al municipio de Vallecillo y se trabajó con muestras previamente colectadas en otro proyecto en el municipio de Múzquiz utilizando los registros que tomó quien hizo la colecta.

En la fase de campo se utilizan los protocolos que indica Comptom (1983), y en cada muestreo, realizando antes que nada la toma de coordenadas geológicas con un dispositivo GPS, para después proceder al levantamiento estratigráfico en el cual se mide la sección, se marcan las estaciones, se procede a establecer las magnitudes y direcciones a las orientaciones de los elementos planares/lineares. Clásicamente, la realización de esta tarea se hace con brújulas cuadrantales/azimutales de las cuales la más usada es del tipo Brunton, aunque existen otras opciones como las Silva o Suunto, inclusive aplicaciones para smartphone como Clino, Rocklogger, Strike and Dip, etc. pueden entregar mediciones que se acercan muy bien a los datos extraídos por las brújulas. Concluido la

toma de medidas se prosigue a “levantar” las capas, lo cual consiste en elaborar un esquema de los estratos en una libreta geológica o puede ser una libreta tránsito. En ella se registran las características in situ, por ejemplo, coloración de muestra intemperizada y fresca, esto con ayuda de una guía de rocas y suelos Munsell, también se registran si hay diaclasamiento, fallas, fósiles o estructuras sobre la roca. Se miden los grosores de los estratos, capas o paquetes, dependiendo que parámetro se haya decidió al principio del muestreo, en este caso paquetes, los cuales consisten en unir varios estratos con características similares. Concluido esto, se pasa a la colecta de muestras de roca y fósiles, que se toman y almacenan en bolas de polietileno previamente marcadas y con ayuda de con cincel y un martillo ladrillero se toman las muestras de entre 500 g a 1 kg para su posterior procesamiento en el laboratorio. Hay que resaltar que la toma de fotografías es importante en este proceso.

6.2.2.2 Tafonomía

La caracterización tafonómica del material presenta una parte crucial que refiere a la identificación en campo y se realizó en base al método de análisis tafonómico propuesto por Fernández-López (1988, 1997), que consiste principalmente en la observación de los elementos registrados como lo son las asociaciones conservadas, características estructurales, ubicación en el estrato entre otros elementos que se encuentran in situ y que permiten hacer suposiciones de los procesos por los cuales atravesó dicho organismo hasta el momento de ser encontrado. Estos datos se agregan a los esquemas realizados del perfil estratigráfico en la libreta tránsito. Al igual que en la colecta de muestras de roca, el registro fotográfico es indispensable, debido a que ayuda a recordar y registrar información una vez en laboratorio. Inclusive algunas fotografías se toman como registro en campo sin necesidad de coleccionar el fósil.

6.2.3 Laboratorio

Esta sección se divide en 4 partes: los análisis paleontológicos, los taxonómicos, los geoquímicos y la interpretación tafonómica.

6.2.3.1 Análisis paleontológicos

Para los análisis paleontológicos se incluyen características geológicas y taxonómicas que profundizan lo previamente colectado. Por ejemplo, se utiliza un microscopio estereoscopio para la determinación de los granos en las muestras de rocas. Para analizar la estructura interna de las muestras, se elaboran las láminas delgadas, siguiendo el método de Hollocher (2011) en el cual las muestras se procesan cortando la roca con una sierra diamantada para obtener fragmentos pequeños o almohadillas, y así manipularlas de forma práctica. Posteriormente y mediante la desbastación mecánica con lijas de diversos grosores o abrasivos hasta tener un grosor de unas pocas micras que se analizará bajo el microscopio, y así, determinar el ambiente de depósito, textura y microfacies, usando los criterios de Dunham (1962), Folk (1962) Wilson (1975) y Flügel (1982) que se tienen que revisar como parte de la interpretación de la microfacies, el ambiente de depósito, la cronológica y concluir con la posterior reconstrucción paleoambiental.

6.2.3.2 Análisis taxonómico

La identificación taxonómica de los diferentes grupos se realizó usando textos como el *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Moore, 1996) para identificación de ammonoideos y bivalvos, a Cushman (1995) para los microfósiles, y diversos trabajos de Blanco-Piñón (2003), y Blanco-Piñón *et al.* (2003; 2005; 2007) que trabajó la localidad de Vallecillo.

En el análisis taxonómico se clasificaron los fósiles en grupos de individuos desde los microfósiles como los foraminíferos, calpionélidos, etc., hasta los invertebrados como equinodermos, bivalvos, ammonites y vertebrados como peces, crustáceos y reptiles.

Parte del material se limpió y preparó con métodos mecánicos como la utilización de un dremel para eliminar los sedimentos que cubrían el ejemplar fósil, y también se utilizó ayuda de químicos como el hidróxido de potasio >85% y el ácido clorhídrico al 10% para ablandar sedimentos muy duros y descubrir la mayor parte posible del material. Por último, para pegar fragmentos dañados de material se utilizó Resistol 850.

6.2.3.3 Análisis geoquímico

Los análisis de las pruebas geoquímicas como la fluorescencia de rayos X (FRX) de energía dispersiva por espectrómetro de absorción atómica y los análisis de carbono se realizan para corroborar las edades, el tipo y materiales minerales además del carbono con el que se forman las rocas, esto con el propósito de que la interpretación ambiental sea lo más exacta posible. La espectrometría de rayos X, es un conjunto de técnicas que permiten detectar y cuantificar la composición de una muestra de material desconocido irradiándola con rayos X, se caracteriza por el hecho de que la radiación resultante del análisis se descompone en sus diferentes longitudes de onda o espectros para el análisis sobre los elementos o compuestos que contiene la muestra. Este par de pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios FAIRCHILD S.A, en los cuales se solicitó llevar el material marcado en muestras de 100 g para cada muestra por lo que se entregaron 2 bolsas de polietileno, con 200 g cada una y marcada con la clave de la capa rocosa que se busca analizar a nivel geoquímico.

6.2.3.4 Análisis tafonómico

Colectando la información de las pruebas geoquímicas, el ambiente de depósito y los grupos taxonómicos, se suma esto a los datos registrados en campo para completar la

interpretación tafonómica siguiendo lo establecido en diversos trabajos de Fernández-López (1981, 1988, 1997, 1997, 2000, 2001 y 2005).

Por ejemplo, se pueden identificar las estructuras volátiles (las que generalmente no fosilizan, como partes blandas, vísceras, piel, etc.) y las estructuras refractarias (que presentan resistencia a procesos orgánicos y su fosilización es común, como huesos, espinas, dientes, celulosa, quitina, etc.). También en el laboratorio se identifican si los procesos tafonómicos corresponden a la fase de bioestratinomía (procesos que atraviesa el organismo al morir antes de ser enterrado, por ejemplo, ser alimento de biota necrófaga, estos a su vez pueden ser físicos, químicos y biológicos) o a la fosildiagénesis (aquí entran todos los procesos que atraviesa el individuo desde el enterramiento hasta el punto en el que es colectado, encontrándose diversos procesos que serán explicados en la sección de resultados). Por último, también se puede identificar si el fósil fue de un organismo démico o endémico (que vivió y murió donde fue encontrado) o adémico conocido también como exótico, e incluso si el fósil es autóctono o alóctono al yacimiento fosilífero.

6.2.4 Gabinete 2

En la última fase de gabinete 2, se integraron los resultados y se completa el objetivo final que corresponde a la reconstrucción paleoambiental de la zona de muestreo, se busca literatura, se analizan los datos y se escribe la tesis para por último dar paso a los trámites necesarios de titulación.

7. RESULTADOS

Para la localidad de Coahuila, se trabajó con 2 núcleos de roca extraídos en noviembre del 2016, donados por la Universidad Autónoma de Coahuila. El plan original era visitar la zona para tomar fotografías y hacer análisis tafonómicos con fósiles macroscópicos. Al final se modificó esa idea, se canceló la salida y se trabajó solo con los fragmentos de núcleos y las láminas delgadas correspondientes a la Fm. Eagle Ford. Por su parte, en la localidad de Vallecillo Nuevo León, se realizaron 3 salidas a campo, en las cuales se hizo el levantamiento de 2 canteras de la Fm. Agua Nueva, donde se colectaron muestras de roca y fósiles de diferentes grupos taxonómicos, información que aparecerá en su categoría correspondiente dentro de esta sección.

7.1 Geología

7.1.1 Pozos N1SC y N2MC

Se tomaron 20 muestras de roca del núcleo N1SC (Núcleo 1 Sabinas Coahuila) y 35 muestras del núcleo N2MC (Núcleo 2 Múzquiz Coahuila), con una separación aproximada de 3 metros, cubriendo una longitud aproximada de 81m y 185 m de la Formación Eagle Ford en cada pozo. Se prestó especial atención en las muestras que marcaban un cambio litológico importante, así como también, aquellas que, debido a la constante manipulación de los núcleos, presentaban zonas de fragilidad que hicieron sencillo el proceso de la obtención de la muestra para el procesamiento de las almohadillas necesarias para la preparación de la lámina delgada, técnica que tiene diversas aplicaciones, las cuales se utilizaran en posteriores secciones de los resultados, teniendo mucha importancia en las interpretaciones paleoambientales.

Posteriormente, se prepararon y analizaron 60 láminas delgadas, 25 del núcleo N1SC y 35 del N2MC. Las características litológicas presentes en los fragmentos núcleos de la Fm. Eagle Ford corresponden a 4 litofacies. Primero la Unidad Inferior, con lutita calcáreo-carbonosa y caliza de microfósiles. En la Unidad Superior, con caliza arcillosa de microfósiles y lutita calcáreo-carbonosa.

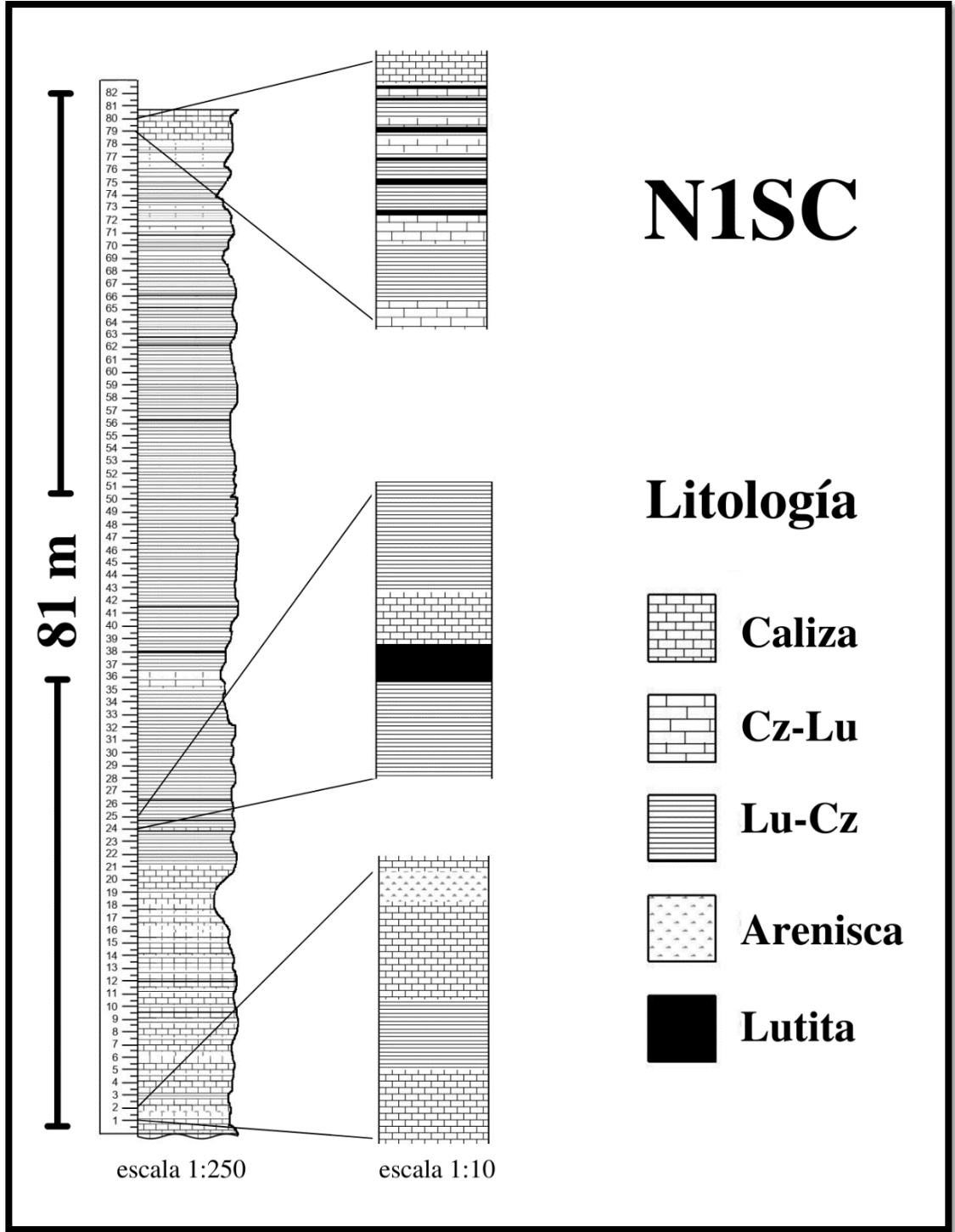


Figura 2. Columna estratigráfica del pozo N1SC para la Fm. Eagle Ford, en el Rancho “la Esperanza” en Sabinas Coahuila, realizado en el programa SedLog 3.1.

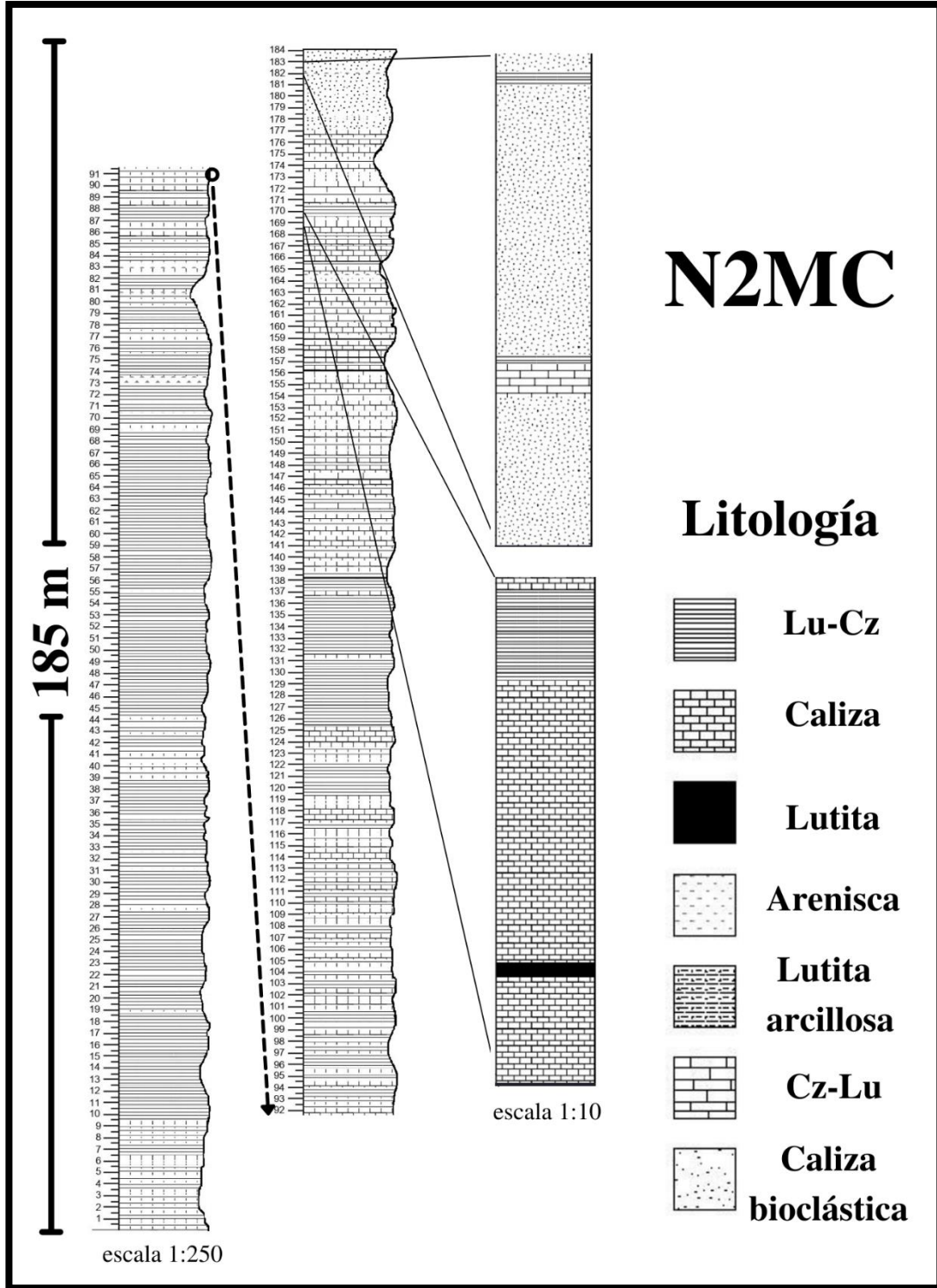


Figura 3. Columna estratigráfica del pozo N2MC para la Fm. Eagle Ford en Múzquiz Coahuila, realizado en el programa SedLog 3.1.

Además de las 4 litofacies, se encuentran 2 texturas distintas, del criterio de clasificación de Dunham (1962). El mudstone-wackestone y el packstone.

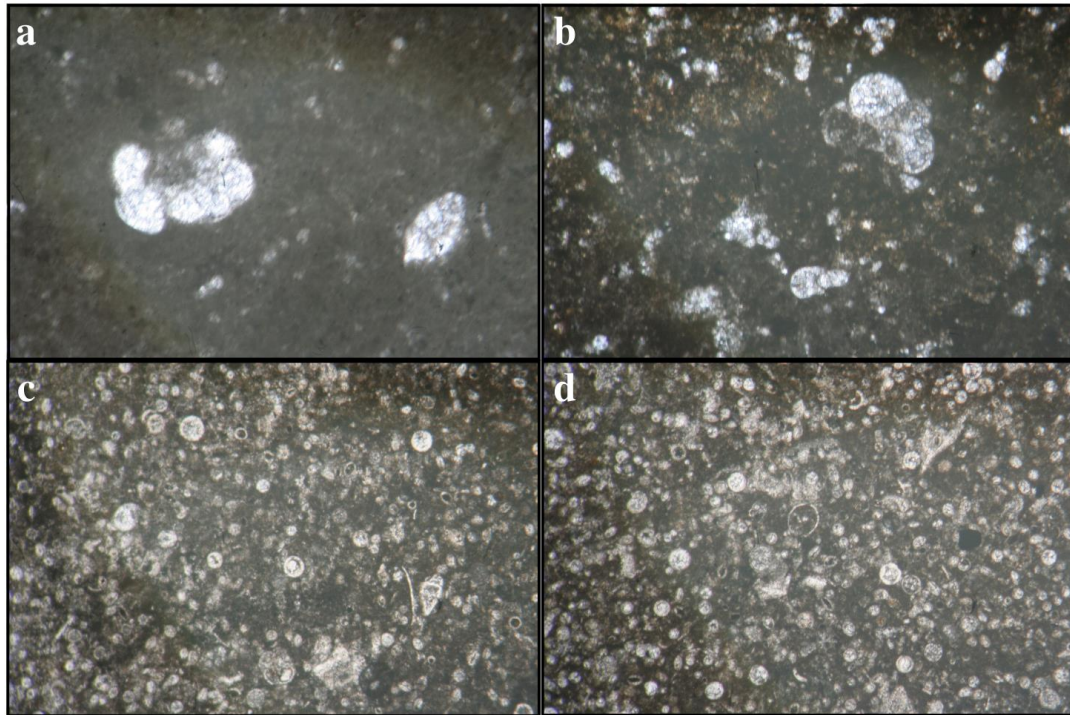


Figura 4. Fotomicrografía: Imágenes “a” y “b”, representan la textura mudstone-wackestone con un porcentaje 10-20% de aloquímicos, mientras que las imágenes “c” y “d”, representan la textura tipo packstone, con porcentajes de 60-70%.

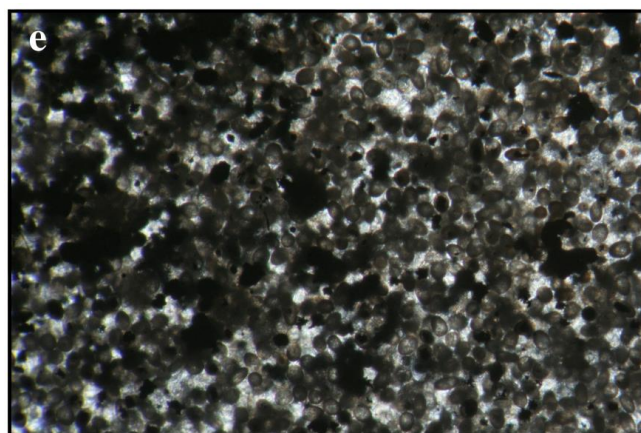


Figura 5. Fotomicrografía. La imagen “e” representa una textura grano-sostenida conocida como grainstone, que contiene > 90% de aloquímicos, y muy poco cemento.

7.1.2 Canteras en Vallecillo

Se muestrearon 2 canteras, marcadas con los nombres CVG-1(Cantera Vallecillo Guadiana 1) y CVG-2 (Cantera Vallecillo Guadiana 2), en las cuales se levantaron 19 y 6 capas respectivamente. La selección de las capas fue determinada por el método de empaquetamiento de estratos si las condiciones de estos son uniformes, por ejemplo, mismos colores y espesores, pues en la práctica, se encuentran condiciones de texturas y microfacies iguales. En general las canteras estudiadas en este trabajo son secuencias de calizas arcillosas y margas de colores grises cobrizos y marrones con espesores de estratificación milimétrica en algunas capas y centimétrica en otras y lutitas carbonosas laminadas, con estratificación media. En la cantera CVG-2 se reportó la presencia de margas de coloraciones rosadas.

La preparación y posterior análisis de las láminas culminó con la elaboración de 38 láminas, 28 láminas de la cantera CVG-1 y 10 láminas de la CVG-2.



Figura 6. Cantera 1(CVG-1), se puede ver material suelto debido a la explotación comercial de la zona. En la imagen se están colectando muestras de roca para los análisis posteriores en el laboratorio.

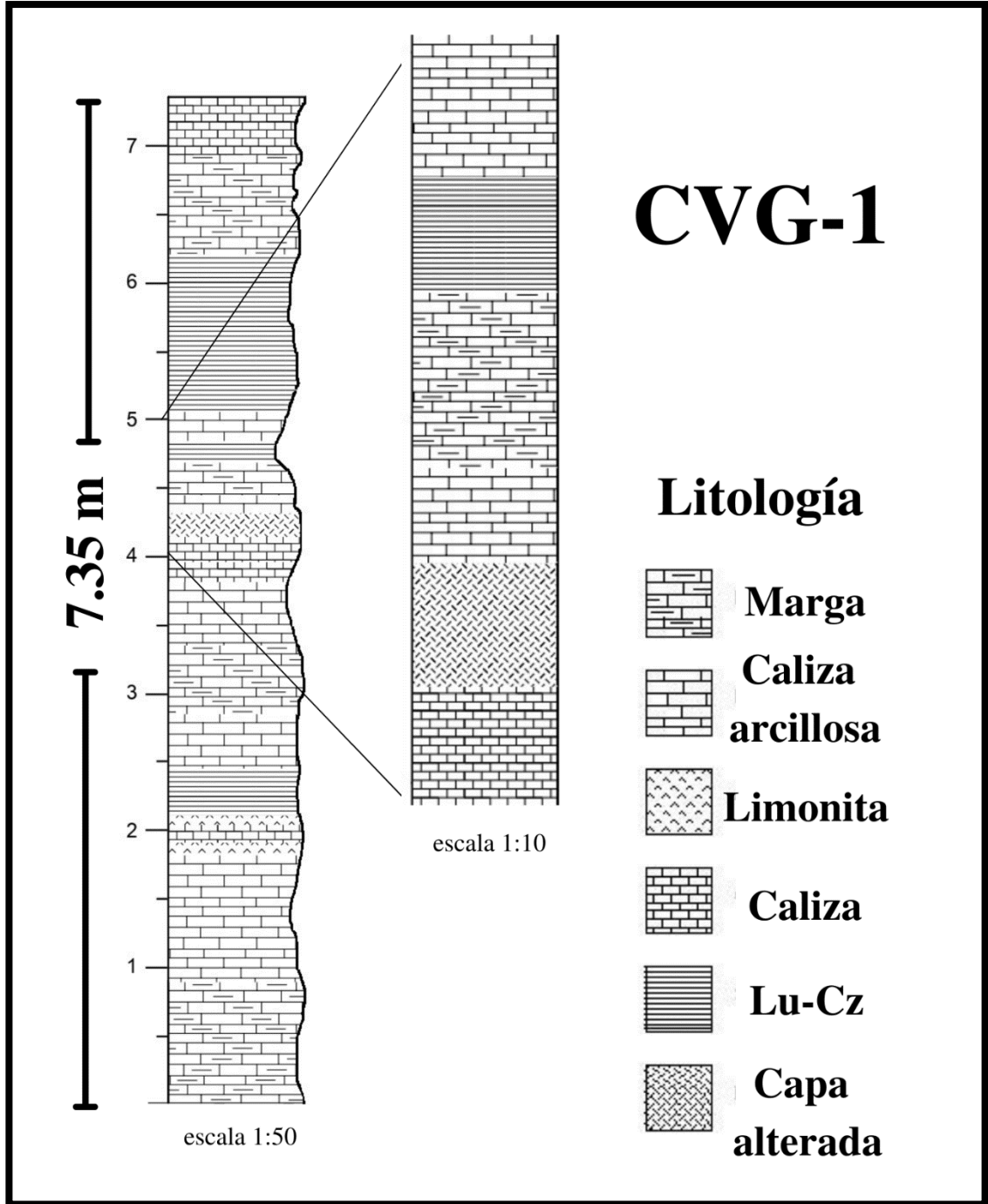


Figura 7. Columnas estratigráficas de la cantera CVG-1 de la Fm. Agua Nueva, en Vallecillo, Nuevo León, realizado en el programa SedLog 3.1.

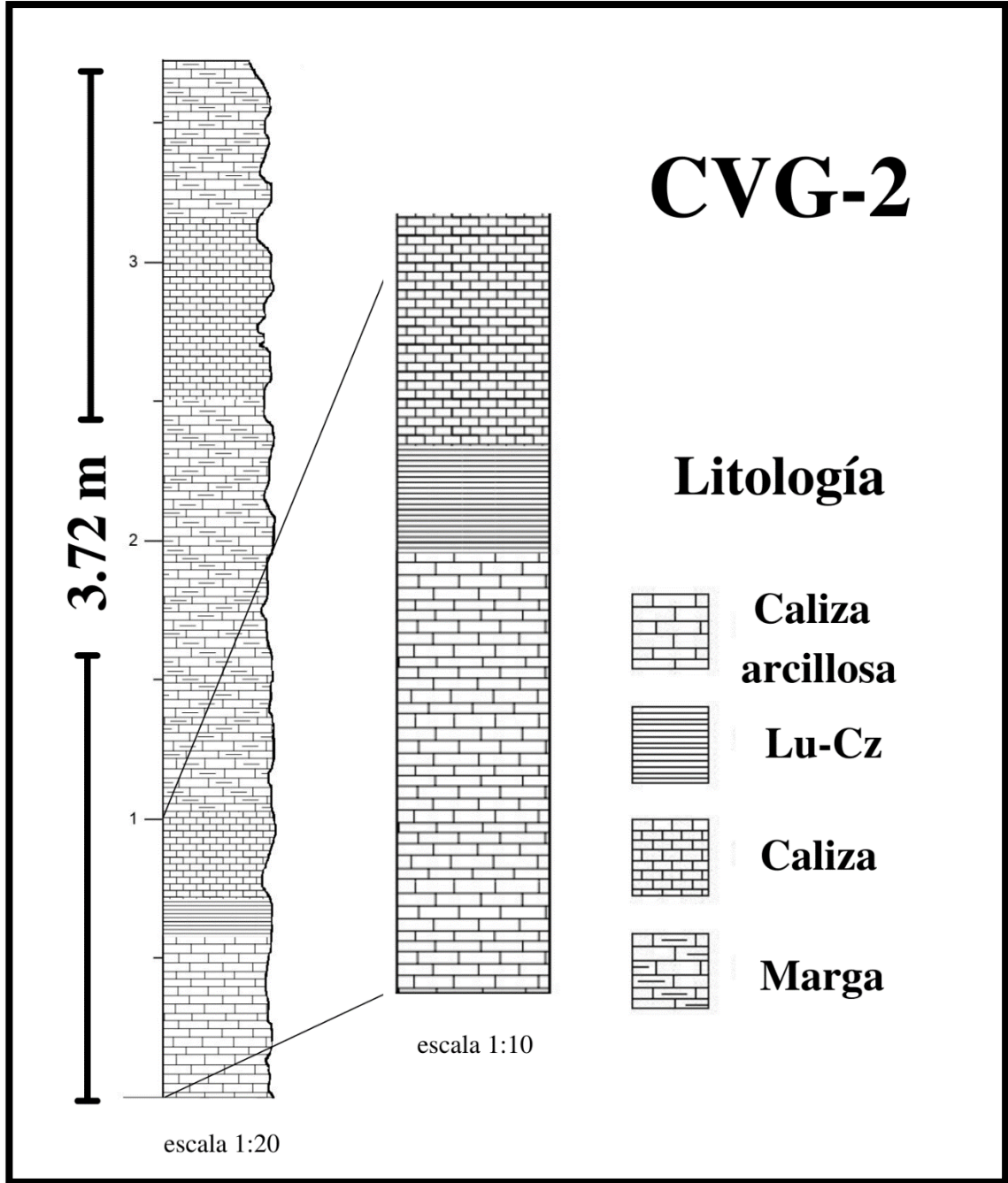


Figura 8. Columnas estratigráficas de la cantera CVG-2 de la Fm. Agua Nueva, en Vallecillo, Nuevo León, realizado en el programa SedLog 3.1.

Las texturas encontradas en los muestreos de Vallecillo corresponden principalmente a la textura mudstone con < 10% de aloquímicos para la mayor parte de las láminas de las canteras 1 y 2, y hacia la mitad de la cantera 1 hay una marcada aparición de la textura packstone con 60-70% de aloquímicos.

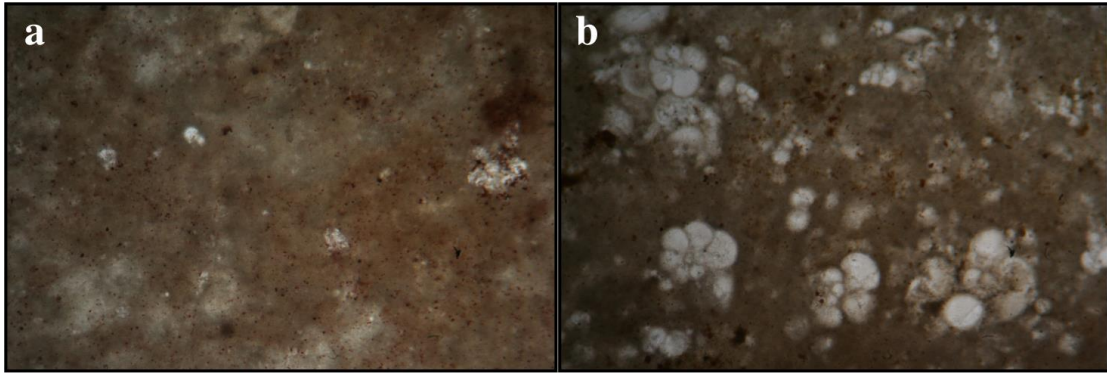


Figura 9. Fotomicrografía: Imagen “a” corresponde a un mudstone y “b” a un packstone.



Figura 10. Fotografía que muestra el levantamiento de capas en la Cantera CVG-1.

7.2 Taxonomía

7.2.1 Pozos N1SC y N2MC

En esta localidad se identificaron principalmente microfósiles de las laminillas y unos pocos moldes de macrofósiles del grupo de la Clase Bivalvia. Los fósiles, en conjunto con el análisis de las microfacies y texturas presentes en las laminillas, indican el ambiente y las condiciones que prevalecieron durante el depósito del estrato de roca. En las siguientes tablas se muestran las taxa presentes en los núcleos N1SC y N2MC.

Orden	Familia	Género	Especie
Pterioida	Inoceramidae	<i>Inoceramus</i> (Giebel, 1852)	<i>Inoceramus labiatus</i> (Shlotheim, 1969)

Tabla 1. Elaborada bajo los criterios de identificación del Tratado de Paleontología de Invertebrados de 1971.

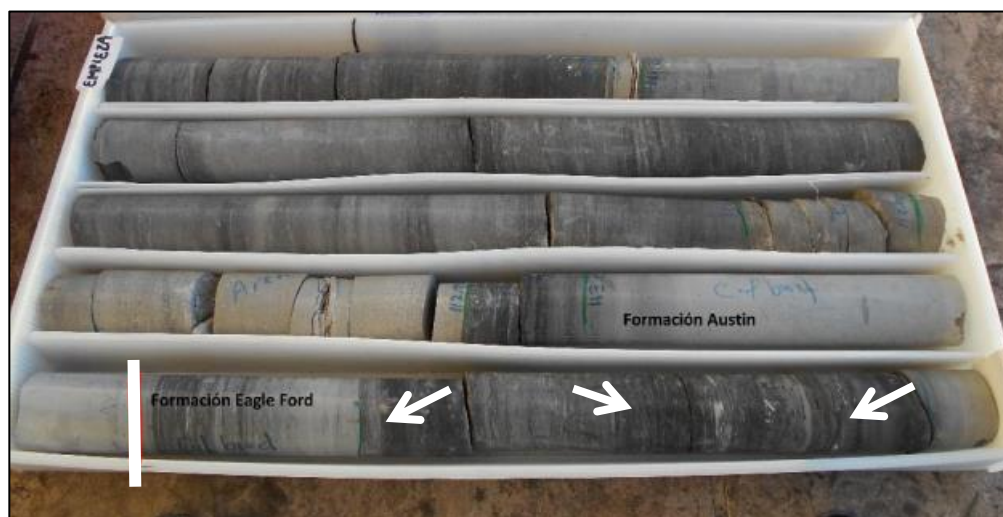


Figura 11. Núcleo N2MC, se aprecian los cambios de coloración entre formaciones geológica.

Orden	Familia	Género	Especie	
Foraminifera	Textularidae	<i>Textularia</i> (Defrance, 1824)	---	
	Nodosariidae	<i>Lenticulina</i> (Lamarck, 1804)	---	
	Heterohelicidae	<i>Heterohelix</i> (Ehrenberg, 1843)	<i>Heterohelix globulosa</i> (Ehrenberg, 1843)	
			<i>Heterohelix moremani</i> (Cushman, 1838)	
	Planomaliniidae	<i>Sigalia</i> (Sigal, 1952)	<i>Globigerinelloides</i> (Cushman & Ten Dam, 1948)	---
			<i>Planomalina</i> (Loeblich and Tappan, 1946)	---
	Rotaliporidae	<i>Hedbergella</i> (Bronnimann & Brouwn, 1958)	<i>Hedbergella amabilis</i> (Bronnimann & Brouwn, 1958)	
			<i>Hedbergella simplex</i> (Marrow, 1934)	
			<i>Hedbergella delrioensis</i> (Carsey, 1926)	
		<i>Clavihedbergella</i> (Banner & Blow, 1959)	<i>Clavihedbergella simplex</i> (Marrow, 1934)	
			<i>Clavihedbergella moremani</i> (Cushman, 1931)	
		<i>Thalmaninnella</i> (Sigal, 1948)	<i>Thalmaninnella appenninica</i> (Renz, 1936)	
		<i>Ticinella</i> (Reichel, 1950)	<i>Ticinella roberti</i> (Gandolfi, 1942)	
	<i>Rotalipora</i> (Brotzen, 1942)	---		
	Globotruncanidae	<i>Archaeoglobigerina</i> (Pessagno, 1967)	<i>Archaeoglobigerina cretacea</i> (D'Orbigny, 1840)	
			<i>Globotruncana laparenti</i> (Pessagno 1969)	
			<i>Globotruncana linneiana</i> (D'Orbigny, 1839)	
			<i>Globotruncana ventricosa</i> (White, 1928)	
	<i>Helvetoglobotruncana</i> (Loeblich & Tappan, 1980)	<i>Helvetoglobotruncana helvetica</i> (Loeblich & Tappan, 1980)		
	Marginotruncanidae	<i>Marginotruncana</i> (Hofker, 1956)	<i>Marginotruncana renzi</i> (Pessagno, 1967)	
			<i>Dicarinella carinata</i> (Dalbiez)	
			<i>Dicarinella concavata</i> (Brotzen, 1934)	
			<i>Dicarinella indica</i> (Jacob Ansastry, 1950)	
<i>Whiteinella</i> (Pessagno, 1967)	<i>Whiteinella archeoretacea</i> (Pessagno, 1967)			
Planulinidae	<i>Planulina</i> (D'Orbigny, 1826)	<i>Planulina austiniana</i> (Cushman, 1940)		
Schackoinidae	<i>Schackoina</i> (Thalman, 1932)	<i>Schackoina cenomana</i> (Schacko, 1897)		
Calcisphaerulidae	<i>Pithonella</i> (Kaufmann, 1865)	<i>Pithonella ovalis</i> (Kaufmann, 1865)		
		<i>Pithonella trejoi</i> (Kaufmann, 1865)		
	<i>Microconus</i> (Trejo, 1983)	---		
	<i>Stomiosphaera</i> (J. Wanner, 1940)	---		
	<i>Calciesphas</i>	---		
<i>Burocratus</i>	---			

Tabla 2. Microfósiles identificados en los núcleos de la Fm. Eagle Ford. Elaborada bajo los criterios de identificación de Cushman de 1995.

La identificación de los fósiles además de proporcionar información de interacciones ecológicas y ambientes de depósito sirve para establecer los rangos bioestratigráficos y la distribución en el tiempo de la paleobiota que se encuentran en los estratos rocosos y así poder establecer la edad específica del afloramiento que se analiza. La siguiente tabla muestra los rangos bioestratigráficos de las taxa identificada en los pozos de Coahuila.



Figura 12. Imagen “a” *Inoceramus labiatus*, imagen “b” ammonoideo no identificado en muestras de corte de núcleos, Fm. Eagle Ford, Coahuila.

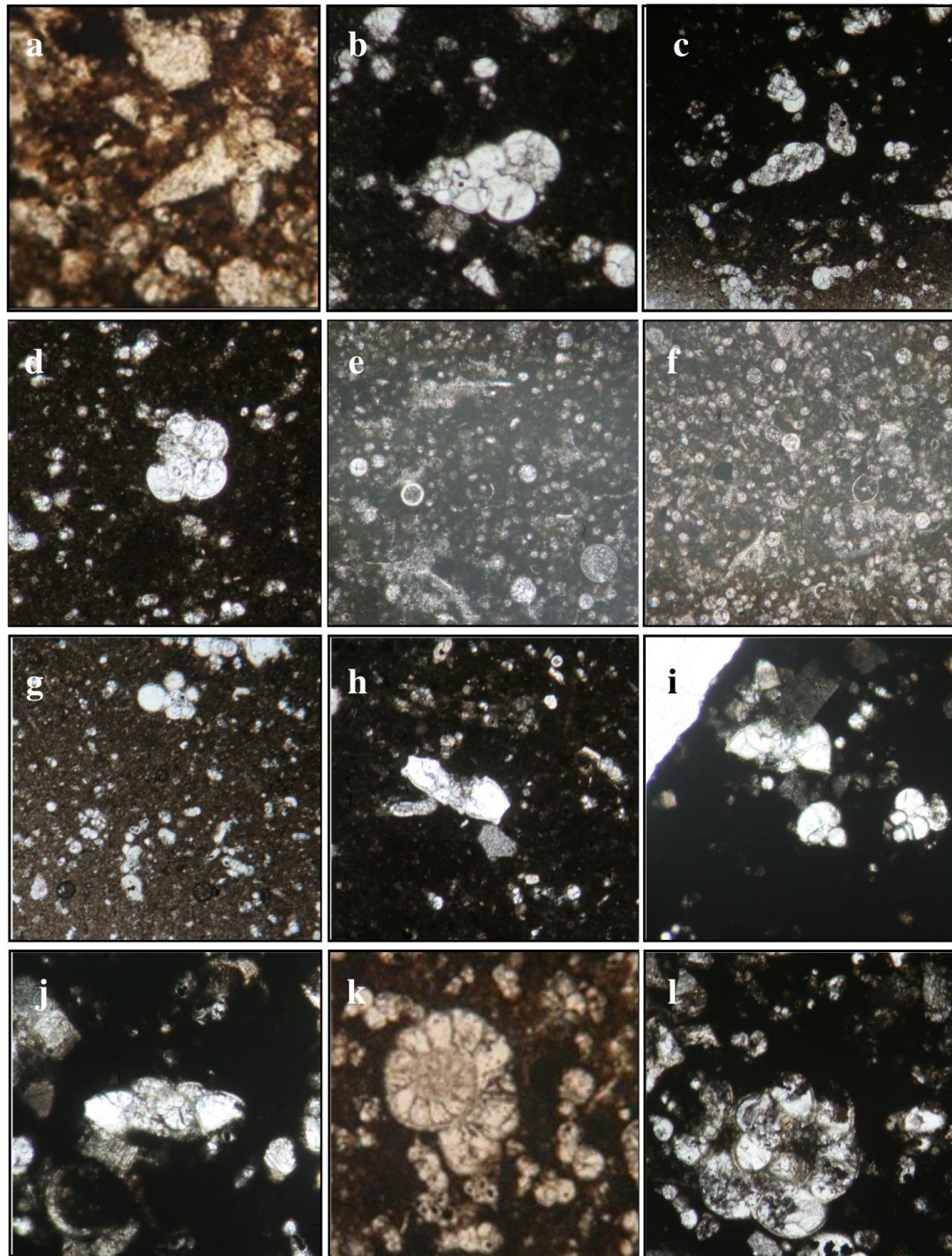


Figura 13. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Eagle Ford vistos bajo el microscopio.

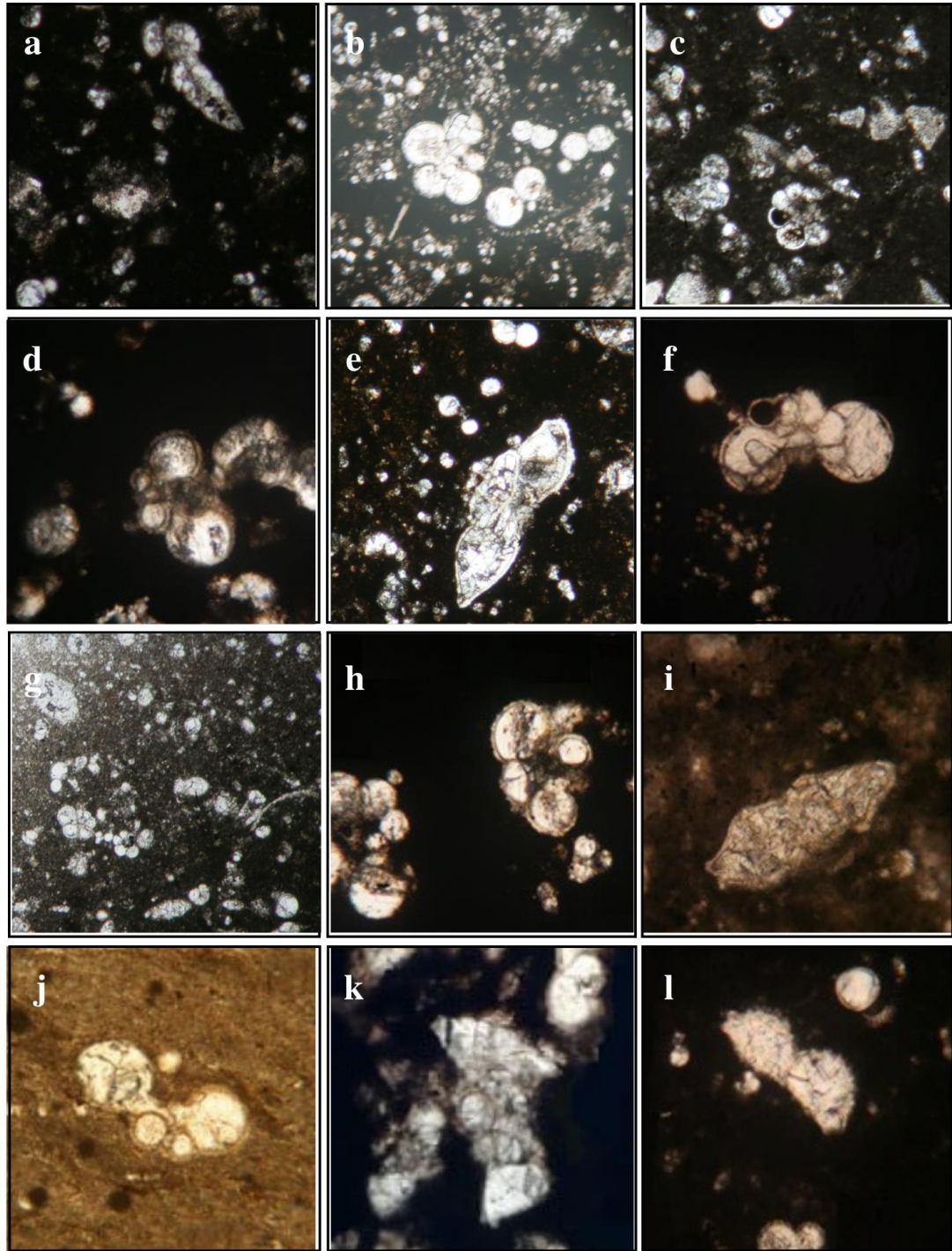


Figura 14. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Eagle Ford vistos bajo el microscopio

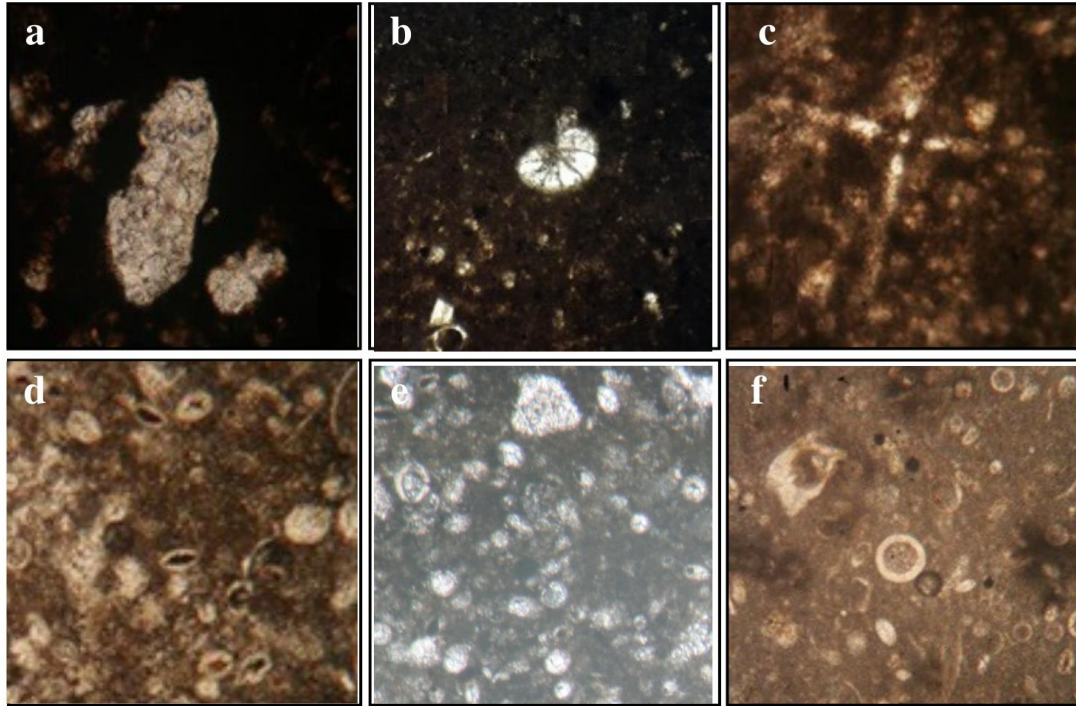


Figura 15. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Eagle Ford vistos bajo el microscopio

En la figura 13 aparecen: a) *Clavhedbergella moremmani* b) *Heterohelix globulosa* c) *Lenticulina* d) *Globigerinelloides* e) *Calciesphera* f) *Stomiosphaera* g) *Hedbergella amabilis* h) *Globotruncana laparenti* i) *Globotruncana ventricosa* j) *Marginotruncana renzi* k) *Planomalina* l) *Whiteinella archeocretacea* La figura 14 tiene a: a) *Textularia* b) *Clavhedbergella simplex* c) *Hedbergella simplex* d) *Hedbergella delrioensis* e) *Ticinella roberti* f) *Archaeoglobigerina cretacea* g) *Rotalipora* h) *Globotruncana linneiana* i) *Helvetoglobotruncana helvetica* j) *Dicarinella concavata* k) *Dicarinella carinata* l) *Thalmaninnella appenninica* Y, por último, en la figura 15 se encuentran: a) *Dicarinella indica* b) *Planulina austiniana* c) *Schackoina cenomana* d) *Pitonella ovalis* y *P. trejoi* e) *Microconus* f) *Burocratus*

Taxa	CRETÁCICO											PALEOGENO	PERÍODO
	INFERIOR					SUPERIOR						PALEOCENO	ÉPOCA
	Berriasiense	Valanginiense	Hauteriviense	Barremiense	Aptiense	Albiense	Cenomanense	Turonense	Coniaciense	Santonense	Campaniense	Maastrichtiense	Daniense
~ 145.0	~ 139.8	~ 132.9	~ 129.4	~ 125.0	~ 113.0	100.5	93.9	89.8 ±0.3	86.3 ±0.5	83.6 ±0.2	72.1 ±0.2	66	m.d.a
<i>Textularia</i>													
<i>Lenticulina</i>													
<i>Heterohelix globulosa</i>													
<i>Heterohelix moremmani</i>													
<i>Sigalia</i>													
<i>Globigerinelloides</i>													
<i>Planomalina</i>													
<i>Hedbergella amabilis</i>													
<i>Hedbergella simplex</i>													
<i>Hedbergella delrioensis</i>													
<i>Clavihedbergella simplex</i>													
<i>Clavihedbergella moremmani</i>													
<i>Thalmaninnella appenninica</i>													
<i>Ticinella roberti</i>													
<i>Rotalipora</i>													
<i>Archaeoglobigerina cretacea</i>													
<i>Globotruncana laparenti</i>													
<i>Globotruncana linneiana</i>													
<i>Globotruncana ventricosa</i>													
<i>Helvetoglobotruncana helvetica</i>													
<i>Marginotruncana renzi</i>													
<i>Dicarinella carinata</i>													
<i>Dicarinella concavata</i>													
<i>Dicarinella indica</i>													
<i>Whiteinella archeocretacea</i>													
<i>Planulina austiniiana</i>													
<i>Schackoia cenomana</i>													
<i>Pitonella ovalis</i>													
<i>Pitonella trejoi</i>													
<i>Microconus</i>													
<i>Stomiosphaera</i>													
<i>Calciesphas</i>													
<i>Burocratus</i>													
<i>Inoceramus labiatus</i>													

Tabla 3. Rangos bioestratigráficos. Elaborada bajo los criterios de distribución cronoestratigráfica de géneros y especies identificadas.

Y para concluir lo presentado con anterioridad podemos recurrir a las biozonas de foraminíferos. Carón (1985) dice que la fauna marca una edad exclusiva del Cenomaniano se representa con el género *Rotalipora*, e indica el comienzo de la Zona de *Rotalipora cuschmani*. Las asociaciones de las especies *Heterohelix globulosa*, *Heterohelix moremmani*, *Hedbergella delrioensis* y *Whiteinella* indican dicha edad.

El Inicio del Turoniano está representada por *Whiteinella archeocretacea*, la cual marca el comienzo de la Zona de *Whiteinella archeocretacea*. Parece ser, que la especie para determinar la edad de la Fm. Eagle Ford es la *Helvetoglobotruncana helvetica*.

Zona de <i>Rotalipora cushmani</i>	Zona de <i>Whiteinella archeocretacea</i>	Zona de <i>Helvetoglobotruncana helvetica</i>
Edad: Cenomaniano Medio-Tardío Límite superior marcado por la extinción del género <i>Rotalipora</i> .	Edad: Turoniano Temprano Inicia con la extinción de <i>Rotalipora</i> y se caracteriza por la <i>Whiteinella archeocretacea</i> .	Edad: Turoniano Medio Representativo de la Formación Eagle Ford.

Tabla 4. Principales zonas de foraminíferos planctónicos en la Fm. Eagle Ford.

7.2.2 Canteras en Vallecillo

Los resultados de esta localidad se dividen en microfauna y macrofauna. De las laminillas preparadas se identificaron foraminíferos y radiolarios índices para establecer la edad de las canteras. Por su parte, la macrofauna está compuesta principalmente por fragmentos de peces y abundantes bivalvos, presenta además algunos ammonoideos y un crustáceo. En las siguientes tablas se muestran los resultados de las canteras CVG-1 y CVG-2 de la localidad de Nuevo León.

Orden	Familia	Género	Especie
Foraminifera	Heterohelicidae	<i>Heterohelix</i> (Ehrenberg, 1843)	<i>Heterohelix globulosa</i> (Ehrenberg, 1843)
			<i>Heterohelix striata</i> (Ehrenberg, 1840)
	Planomaliniidae	<i>Globigerinelloides</i> (Cushman & Ten Dam, 1948) <i>Planomalina</i> (Loeblich and Tappan, 1946)	---

	Rotaliporidae	<i>Hedbergella</i> (Bronnimann & Brouwn, 1958)	<i>Hedbergella amabilis</i> (Bronnimann & Brouwn, 1958)
			<i>Hedbergella simplex</i> (Marrow, 1934)
			<i>Hedbergella delrioensis</i> (Carsey, 1926)
		<i>Clavihedbergella</i> (Banner & Blow, 1959)	<i>Clavihedbergella simplex</i> (Marrow, 1934)
			<i>Clavihedbergella moremani</i> (Cushman, 1931)
	<i>Rotalipora</i> (Brotzen, 1942)	---	
	Globotruncanidae	<i>Archaeoglobigerina</i> (Pessagno, 1967) <i>Globotruncana</i> (Cushman, 1927). <i>Helvetoglobotruncana</i> (Loeblich & Tappan, 1980) <i>Marginotruncana</i> (Hofker, 1956)	<i>Archaeoglobigerina cretacea</i> (D'Orbigny, 1840)
			<i>Globotruncana laparenti</i> (Pessagno 1969)
			<i>Globotruncana linneiana</i> (D'Orbigny, 1839)
			<i>Globotruncana ventricosa</i> (White, 1928)
			<i>Helvetoglobotruncana helvetica</i> (Loeblich & Tappan, 1980)
	Marginotruncanidae	<i>Dicarinella</i> (Porthault, 1970)	<i>Dicarinella carinata</i> (Dalbiez)
			<i>Dicarinella concavata</i> (Brotzen, 1934)
			<i>Dicarinella indica</i> (Jacob Ansastry, 1950)
		<i>Whiteinella</i> (Pessagno, 1967)	<i>Whiteinella archeocretacea</i> (Pessagno, 1967)
			<i>Whiteinella paradubia</i> (Sigal, 1952)
<i>Whiteinella britonensis</i> (Loeblich & Tappan, 1961)			
Calcisphaerulidae	<i>Pithonella</i> (Kaufmann, 1865) <i>Calcisphaeras</i>	---	

Tabla 5. Microfósiles identificados en las canteras de la Fm. Agua Nueva. Elaborada bajo los criterios de identificación de Cushman de 1995.

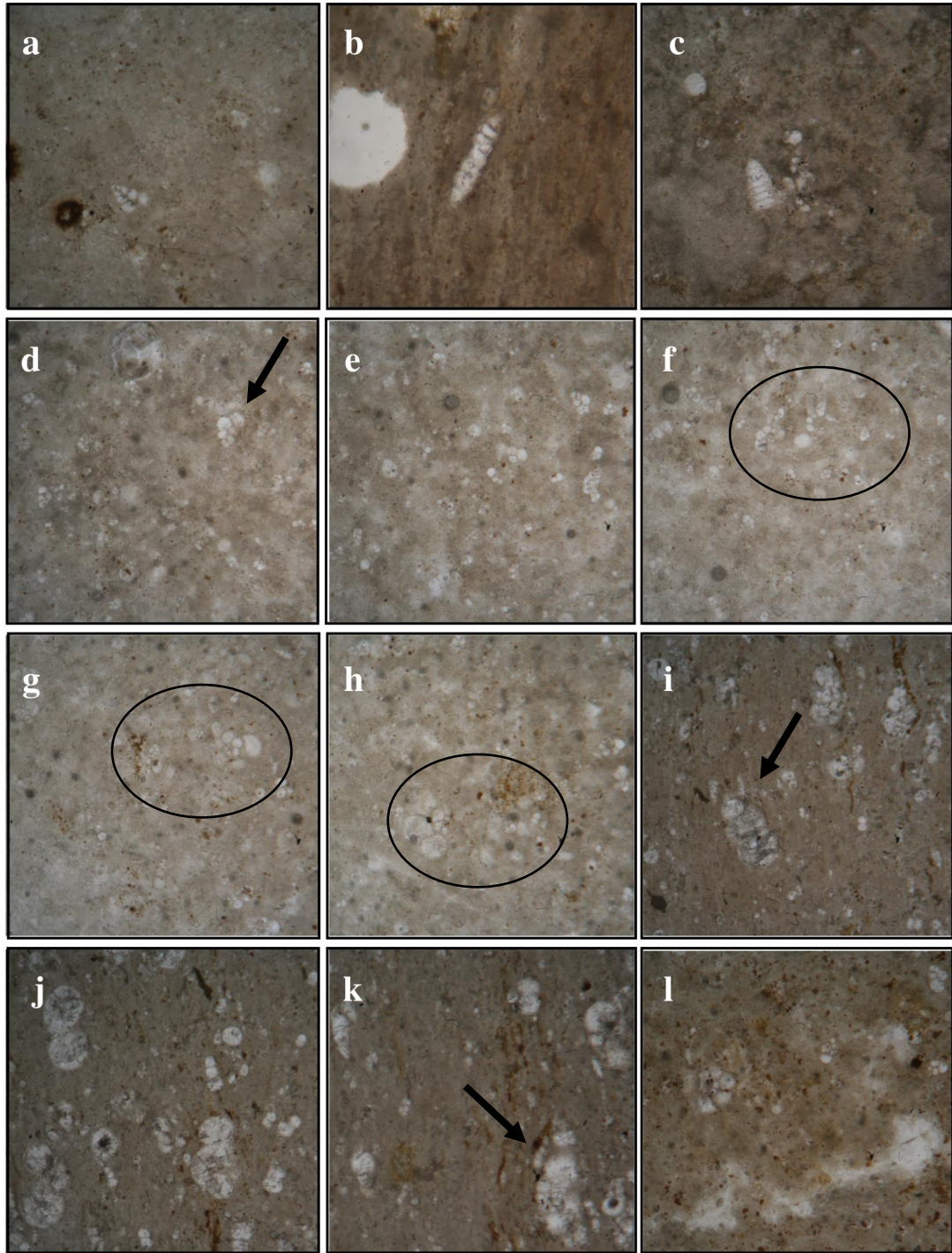


Figura 16. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Agua Nueva vistos bajo el microscopio.

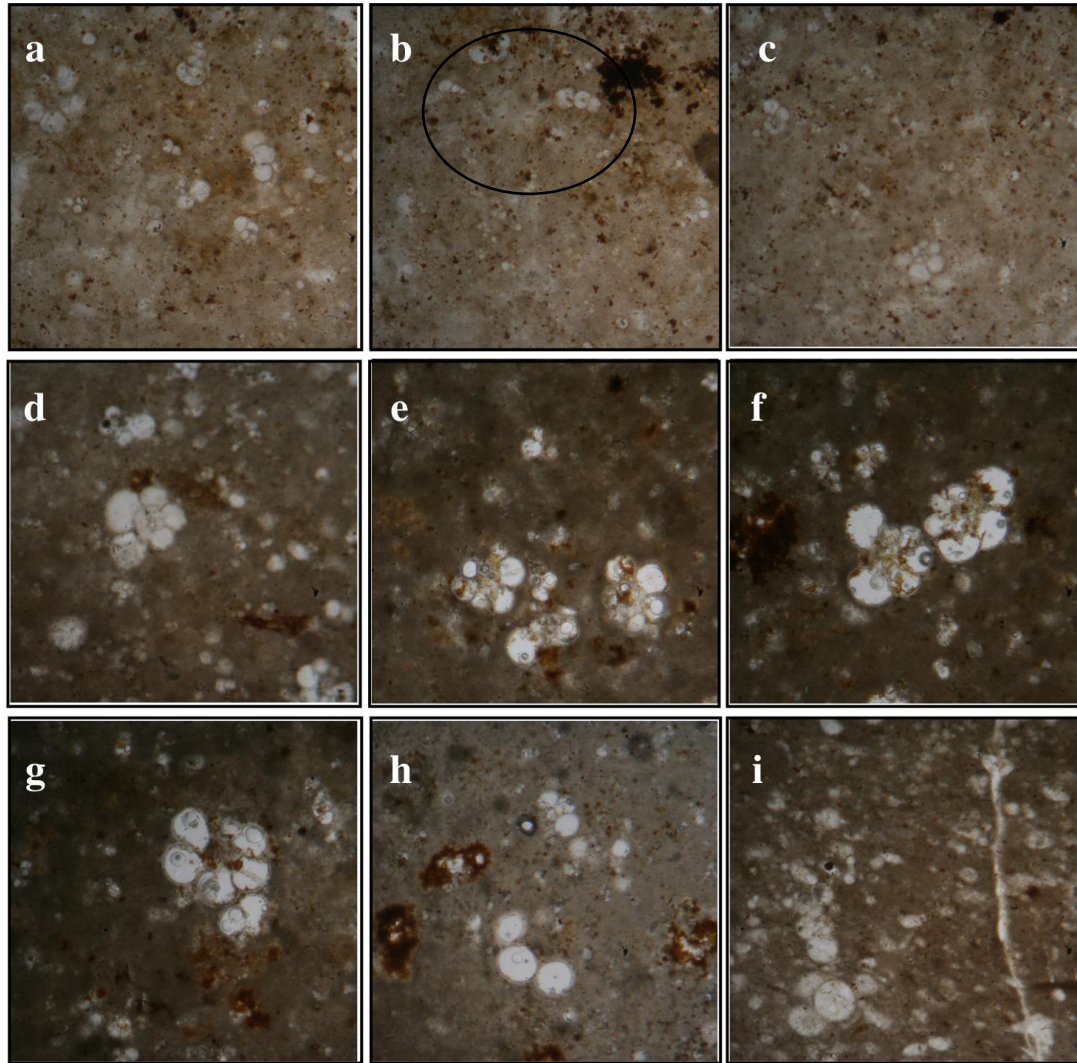


Figura 17. Fotomicrografía: Microfósiles de la Fm. Agua Nueva vistos bajo el microscopio.

En la figura 16 aparecen las especies: a) *Heterohelix globulosa* b) *Globotruncana linneana* c) *Planomalina* d) *Heterohelix moremani* e) *Globigerinelloides* y *Rotalipora* f) *Rotalipora* g) *Hedbergella amabilis* h) *Archeoglobigerina* i) *Globotruncana ventricosa* y *Dicarinella* j) *Whiteinella archaeocretacea* k) *Globotruncana ventricosa* l) *Pithonella ovalis*. Por su parte en figura 17 encontramos a: a) *Helvetoglobotruncana* b) *Globotruncana* c) *Hebdergella simplex* d) *Globigerinelloides* e) *Dicarinella* y *Hedbergella* f) *Clavihedbergella* g) *Marginotruncana* h) *Clavihedbergella* i) *Calciespheras*

Taxa	CRETÁCICO										PALEOGÉNO	PERÍODO	
	INFERIOR					SUPERIOR					PALEOCENO	ÉPOCA	
	Berriasiense	Valanginiense	Hauteriviense	Barremiense	Aptiense	Albiense	Cenomaniense	Turonense	Coniaciense	Santonense	Campaniense	Maastrichtiense	Daniense
~ 145.0	~ 139.8	~ 132.9	~ 129.4	~ 125.0	~ 113.0	100.5	93.9	89.8 ±0.3	86.3 ±0.5	83.6 ±0.2	72.1 ±0.2	66	m.d.a
<i>Heterohelix globulosa</i>													
<i>Heterohelix moremmani</i>													
<i>Globigerinelloides</i>													
<i>Planomalina</i>													
<i>Hedbergella amabilis</i>													
<i>Hedbergella simplex</i>													
<i>Clavhedbergella</i>													
<i>Rotalipora</i>													
<i>Archaeoglobigerina</i>													
<i>Globotruncana linneiana</i>													
<i>Globotruncana ventricosa</i>													
<i>Helvetoglobotruncana</i>													
<i>Marginotruncana</i>													
<i>Dicarinella</i>													
<i>Whiteinella archeocretacea</i>													
<i>Pithonella ovalis</i>													
<i>Calcisphaera</i>													

Tabla 6. Rangos bioestratigráficos. Elaborada bajo los criterios de distribución cronoestratigráfica de géneros y especies identificadas.

Zona de <i>Rotalipora cushmani</i>	Zona de <i>Whiteinella archaeocretacea</i>	Zona de <i>Helvetoglobotruncana helvetica</i>	Zona de <i>Dicarinella</i> y <i>Marginotruncana</i>
Edad: Cenomaniano Medio-Tardío	Edad: Turoniano Temprano	Edad: Turoniano Medio	Edad: Turoniano Tardío y Cenomaniano

Tabla 7. Principales zonas de foraminíferos planctónicos en la Fm. Agua Nueva.

La localidad de Vallecillo presenta condiciones de sedimentación de las que se hablará con detalle en secciones posteriores, pero gracias a estas características, la preservación del material permitió que el número de fósiles macroscópicos y la variedad

de grupos, fuera el elemento principal de análisis tafonómicos, resultados que, asimismo, se explicarán posteriormente.

Las siguientes tablas muestran las taxa de macrofauna identificadas en las canteras CVG-1 y CVG-2, de la localidad de Nuevo León.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Mollusca	Cephalopoda	Ammonitida	Acanthoceratidae	<i>Mammites</i> (Laube & Bruder, 1887)	<i>Mammites nodosoides</i> (Schlüter, 1871)
				<i>Pseudoaspidoceras</i> (Dollfus, 1904)	<i>Pseudoaspidoceras pseudonodosoides</i> (Choffat, 1898)
			<i>Pseudoaspidoceras flexuosum</i> (Powell, 1963)		
			Vascoceratidae	<i>Vascoceras</i> (Choffat 1898)	<i>Vascoceras birchbyi</i> (Cobban & Scott, 1972)
			Muniericeratidae	<i>Tragodesmoceras</i> (Spath, 1922)	<i>Tragodesmoceras bassi</i> (Morrow, 1935)
	Placenticeratidae	<i>Placenticeras</i> (Meek, 1876)	---		
	Bivalvia	Pteriida	Inoceramidae	<i>Inoceramus</i> (Giebel, 1852)	<i>Inoceramus labiatus</i> (Shlotheim, 1969)
		<i>Mytiloides</i> (Brongniart, 1822)		---	
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Cenomanocarcinidae	<i>Cenomanocarcinus</i> (Van Straelen, 1936)	---

Tabla 8. Elaborada bajo los criterios de identificación de Moore, Raymond C., y otros editores (1953 al 2006, y en proceso), Treatise on Invertebrate Paleontology.

Clase	Subclase	Infraclasse	Orden	Suborden	Familia	Género	Especie	
Chondrichthyes	Elasmobranchii	---	Laminiformes	---	---	---	---	
			Hypodontoidei		Ptychodontidae	<i>Ptychodus</i> (Agassiz, 1837)	<i>Ptychodus mortoni</i> (Mantell, 1836)	
Actinopterygii	Neopterygii	Holosei	Pycnodontiformes	---	Pycnodontidae	<i>Nursallia</i> (Blot, 1987)	<i>Nursallia guttuosum</i> (Arambourg, 1954)	
		Teleostei	Ichthyodectiformes		---	<i>Ichthyodectoidei incertae sedis</i>	---	
			Crossognathiformes		<i>Pachyrhizodontidae</i>	<i>Goulmimichthys</i> (Cavin, 1995)	<i>Goulmimichthys roberti</i> (Blanco & Cavin, 2003)	
					Araripichthyidae	<i>Araripichthys</i> (Silva Santos, 1985)	---	
			Aulopiformes		<i>Halecoidei</i>	---	<i>Rhynchodercetis</i> (Arambourg, 1943)	---
			Enchodontoidei		Dercetidae	---	---	
Tselfatiformes	---	Tselfatiidae	<i>Tselfatia</i> (Arambourg, 1944)	<i>Tselfatia formosa</i> (Arambourg, 1944)				

Tabla 9. Elaborada bajo los criterios de identificación de Blanco–Piñón y Alvarado–Ortega.

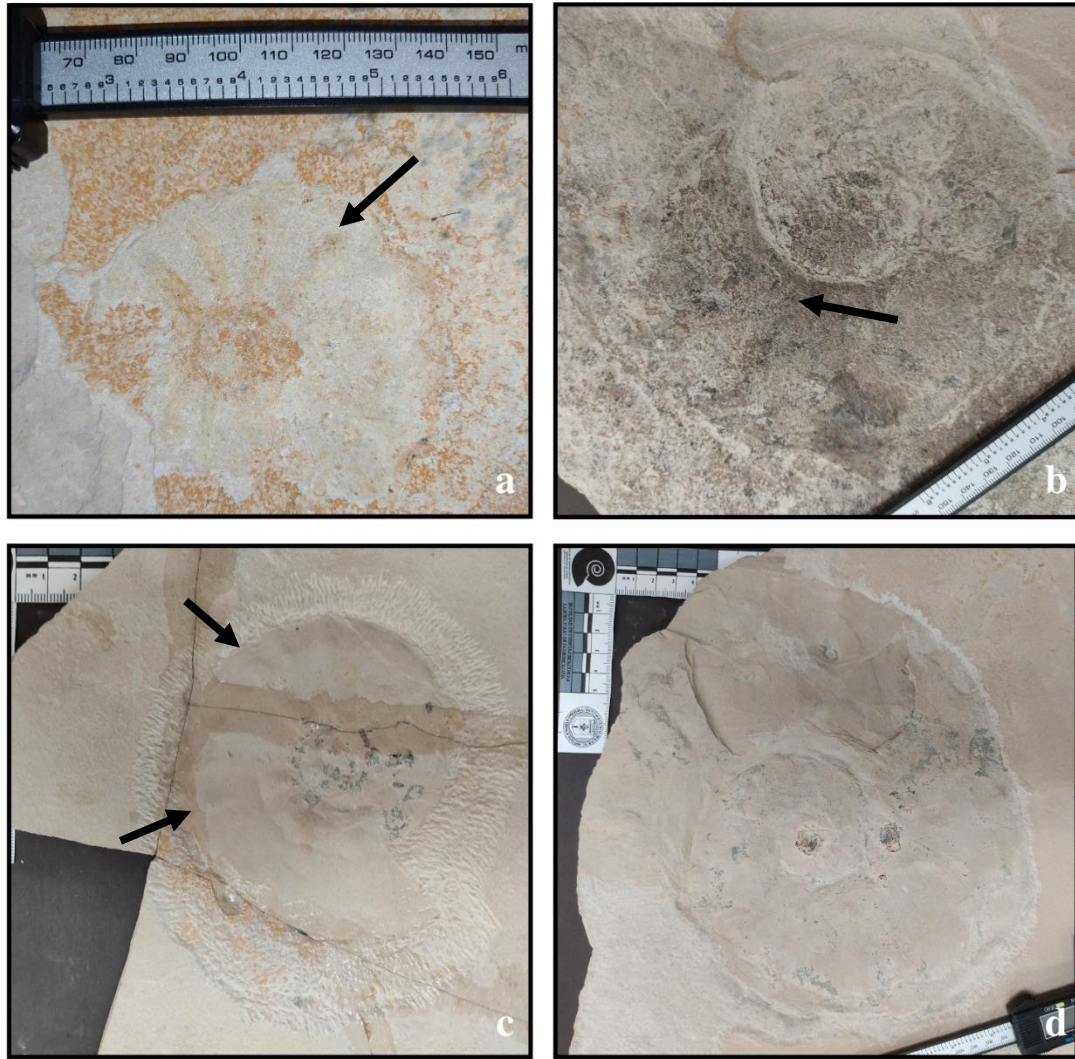


Figura 18. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) *Placeinticeras* b y c) *Mammites nodosoides* d) *Pseudaspidoceras* sp. Señalado con flechas puntos clave como costillas y tubérculos.

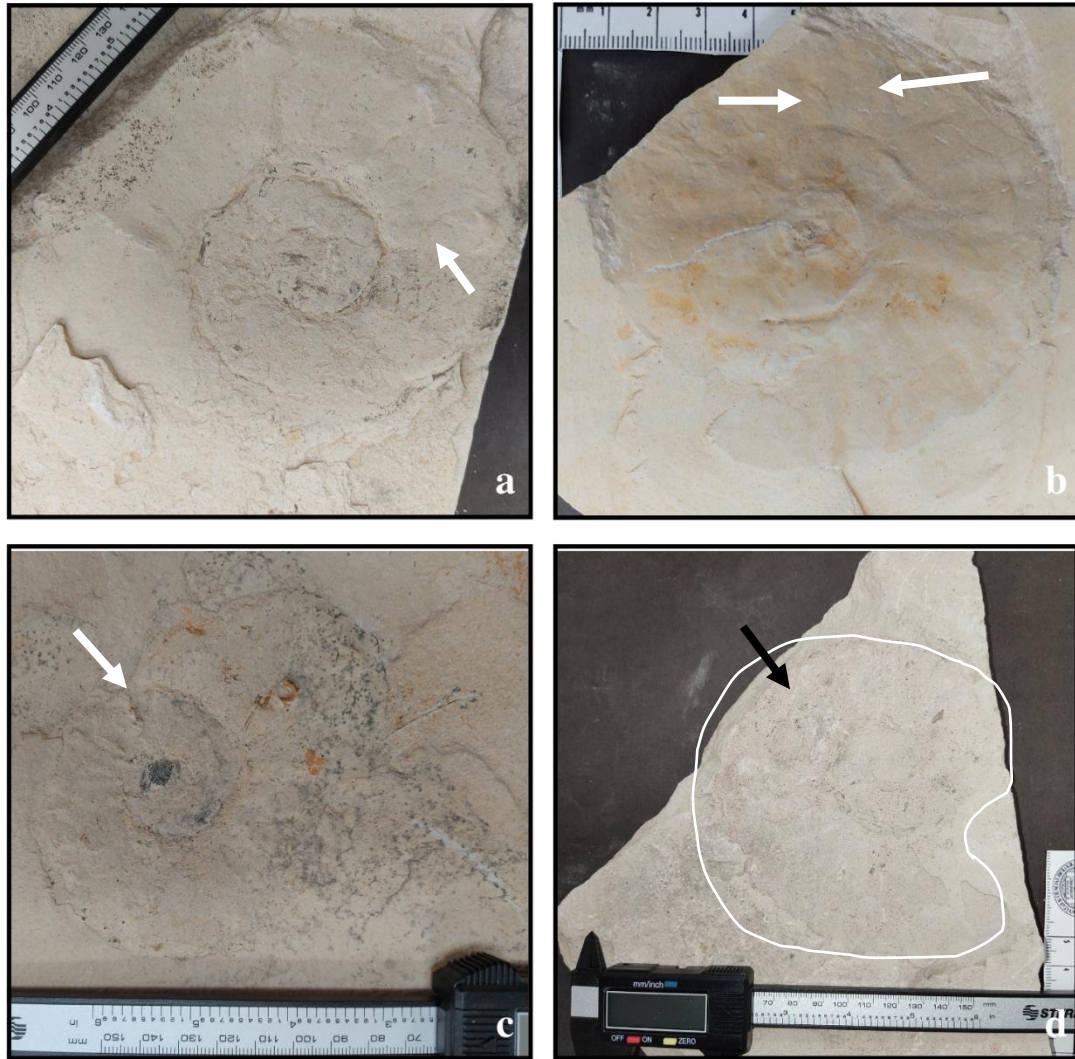


Figura 19. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) *Pseudaspidoceras* sp. b) *Mammites nodosoides* c) *Pseudaspidoceras flexuosum* d) *Vascoceras birchbyi*. Señalado con flechas puntos clave como costillas y tubérculos o en el caso de la imagen “d” el contorno del ejemplar.

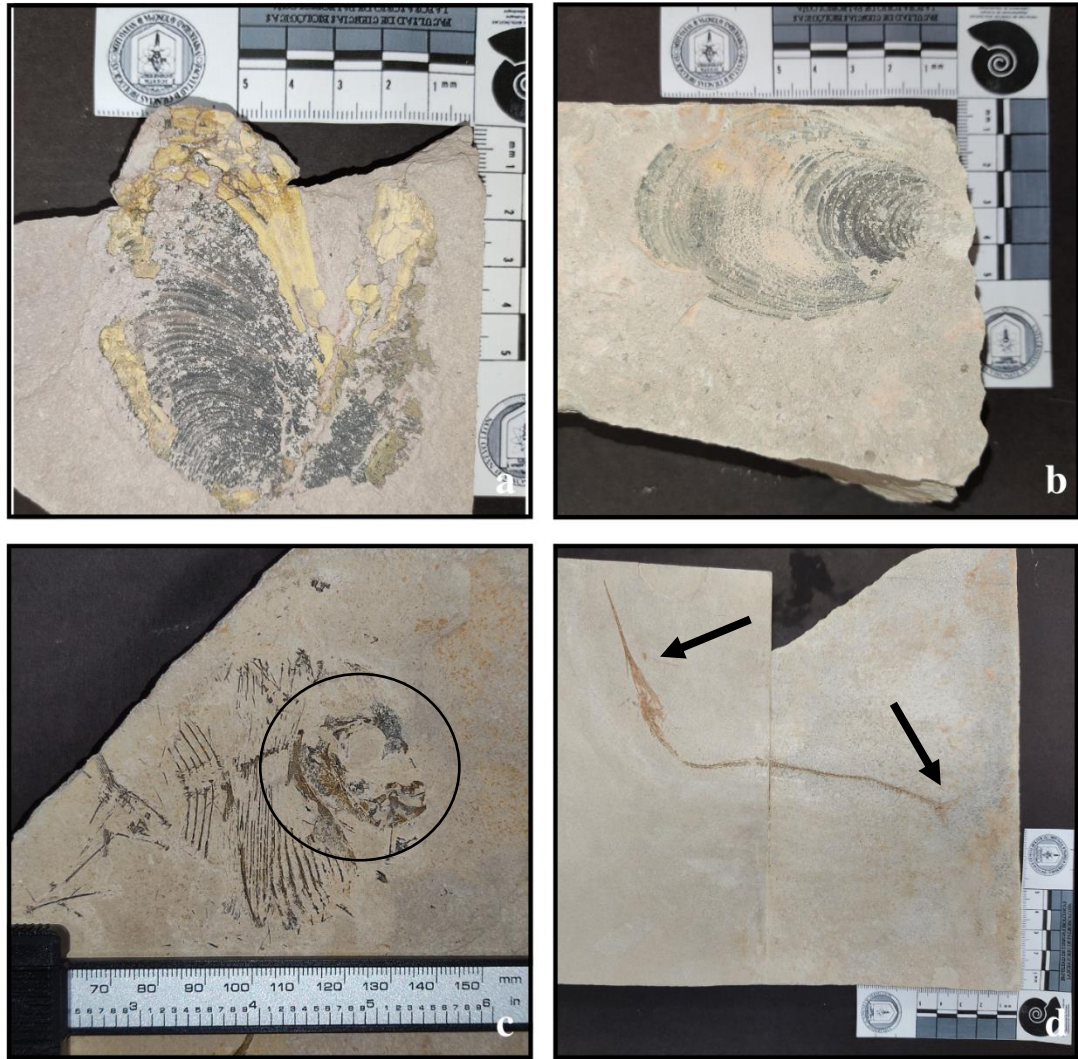


Figura 20. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) *Mytiloides* b) *Inoceramus labiatus* c) *Nursallia gutturosum*, señalado en el círculo el cráneo d) *Rhynchodercetis* señalado con flechas el cráneo y la aleta caudal.

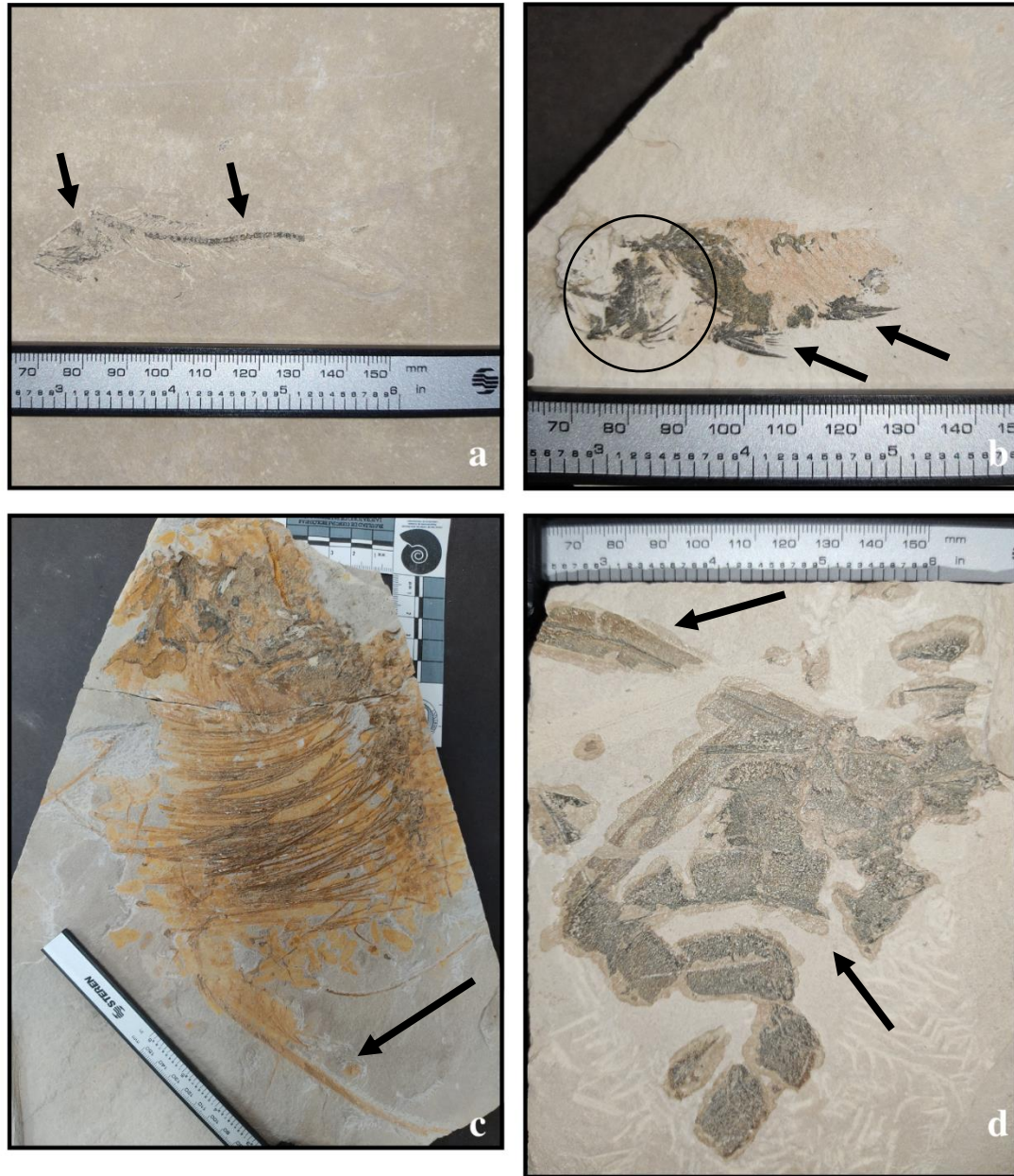


Figura 21. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) orden Halecoidei b) Araripichthys, señaladas la aleta ventral y anal c) *Tselfatia formosa*, señalada con flecha la aleta dorsal d) *Cenomanocarcinus*, Señalados con flechas un pereiópodo y el plastrón torácico

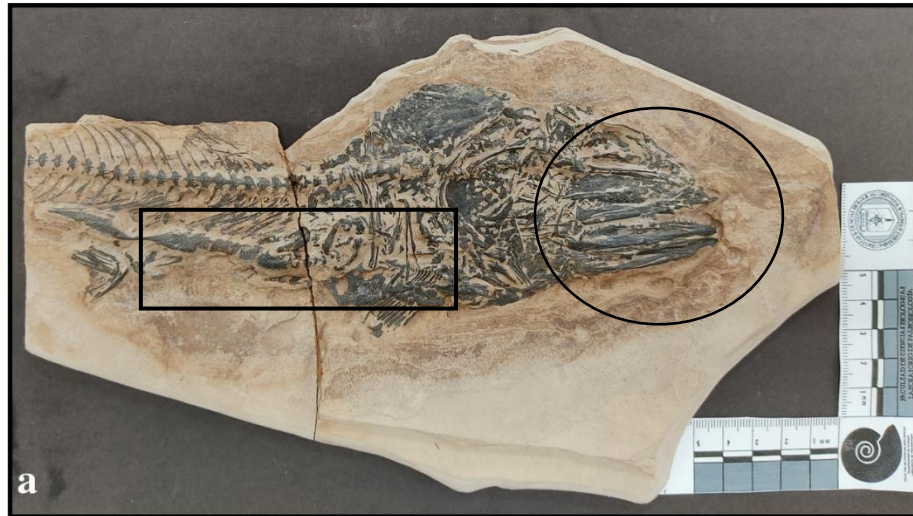


Figura 22. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) *Goulmimichthys roberti* b) Vertebras de pez no identificado. Señalado en el círculo la mandíbula abierta con dientes, y en el rectángulo partes conservadas del intestino.



Figura 23. Macrofósiles de la Fm. Agua Nueva: a) *Vallecillichthys multivertebratum* en capa de la cantera y b) *Vallecillichthys multivertebratum* procesado en el laboratorio. Marcado en el círculo la zona del cráneo.

7.3 Geoquímica

Por modificaciones suscitadas debido a la situación de la pandemia, los análisis geoquímicos terminaron siendo el objetivo que más modificaciones atravesó. Primero estaba contemplado hacer análisis geoquímico de 10 muestras de los pozos N1SC y N2MC y 10 muestras de las Canteras de Vallecillo, después se cambió a 5 y 5 de cada localidad y, por último, debido principalmente a la situación económica del laboratorio, se decidió hacer solamente análisis a 2 muestras, una de la cantera CVG-1 y otro para la cantera CVG-2 de la localidad de Vallecillo. Esta decisión fue tomada por los costos de los análisis geoquímicos, así que, teniendo en cuenta factores como la coloración, textura y microfacie de la muestra, además de la interpretación tafonómica que se realizó principalmente de estas canteras, por lo que tiene más peso a la adición de esos resultados.

Los análisis se realizaron en los laboratorios FAIRCHILD S.A. en mayo del 2021, se entregaron 200 g de cada muestra, de los cuales se utilizaron 100 g para obtener el carbono total, y 100 g para obtener los elementos mayores. Los resultados de las muestras analizadas aparecen en la siguiente imagen.

Folio	LFA210505 0541	LFA210505 0542
Identificación	Muestra 1	Muestra 2
%C TOTAL	8.057	6.808
%SiO ₂	24.065	37.241
%Al ₂ O ₃	4.080	4.901
%MgO	0.461	0.489
%TiO ₂	0.165	0.158
%CaO	37.998	29.318
%Fe ₂ O ₃	1.854	1.020
%Na ₂ O	0.354	0.127
%K ₂ O	0.483	0.844
%Zn	0.150	0.712
%PxC	30.12	24.89

Método de Prueba: ASTM E 1024.

EAA **EEO** **CT** **SAE J403** **SAE J404**

Técnica empleada:

Condiciones Ambientales Temperatura °C: 25 Humedad %: 38

Figura 24. Resultados de las pruebas geoquímicas EAA representa la fluorescencia de rayos x de energía dispersiva por espectrómetro de absorción atómica, y CT representa al Carbono total. La “Muestra 1” representa la cantera marcada como CVG-1 y la “Muestra 2” a la cantera marcada como CVG-2.

La figura 24 representa el contenido de carbono total de las muestras (%C_{TOTAL}) y el resto de los compuestos que aparecen son lo que en geoquímica se conocen como elementos mayores, y la evaluación de determinadas relaciones entre los elementos mayoritarios ayuda a la caracterización composicional de las rocas. El % PxC representa la pérdida por calcinación o agua perdida.

Por conveniencia los elementos son separados en mayores, menores y trazas. Los límites entre los grupos son arbitrarios, pero los más aceptados son: elementos mayores: >1.0% del peso, elementos menores: 0.1 - 1.0% del peso y por último los elementos trazas: <0.1% del peso.

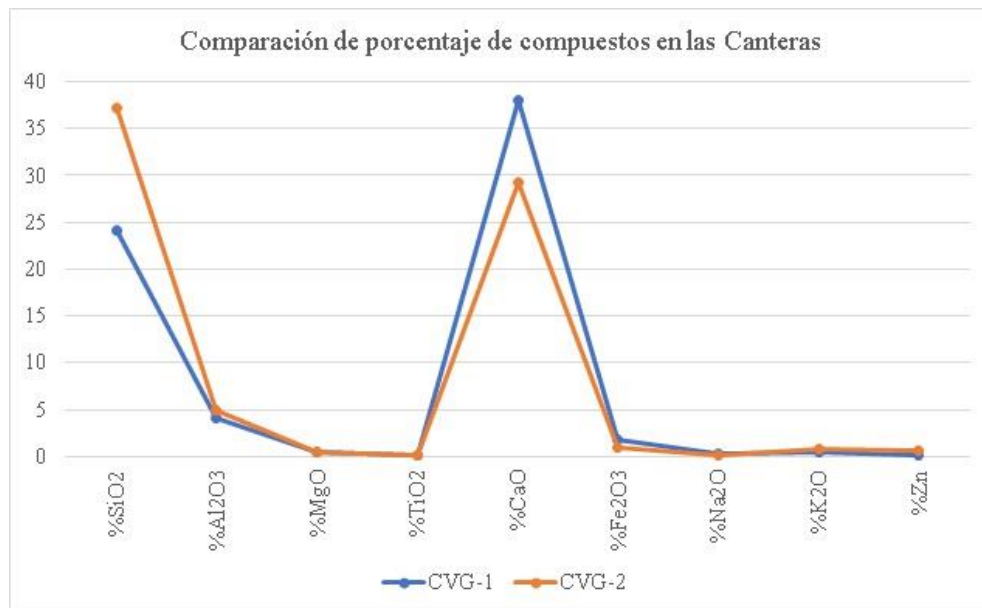


Figura 25. En ambas canteras, SiO₂, CaO, Al₂O₃ y Fe₂O₃ son elementos mayores, y el resto elementos menores.

Cabe mencionar que para realizar los índices geoquímicos se requiere comparar diversas muestras, por lo que este análisis se basa en la interpretación de los compuestos presentes en la roca más que en las relaciones de aumento y disminución de dichos compuestos a través de las capas del perfil. Dicho esto, analicemos los resultados.

En la figura 25 se puede ver que los valores son muy parecidos en las dos muestras, con la diferencia de que las proporciones de SiO_2 y CaO son inversamente proporcionales, y que cuando hay más SiO_2 hay menos CaO y viceversa.

La cantera CVG-2 presenta un porcentaje elevado de SiO_2 en comparación con el resto de los compuestos presentes, entre las rocas silíceas se incluyen las rocas que se han formado como precipitados químicos y se excluyen las de origen detrítico o fragmentario. Lugares en donde sedimentan organismos con conchas como las diatomeas y los radiolarios facilitan la formación de este compuesto. Los sedimentos mixtos, como las lutitas silíceas y las calizas, también parecen ser de una redistribución diagenética de organismos silíceos y dado que por múltiples trabajos previos y la determinación de la formación geológica sabemos que la litología de la formación consiste en estos tipos de roca.

El Fe_2O_3 se concentra principalmente en silicatos ferromagnesianos, en óxidos como la hematita y las limonitas. Por su parte el MgO forma parte del grupo de las micas y silicatos ferromagnesianos.

La pérdida por calcinación que aparece en la imagen como % PxC representa la pérdida de la materia orgánica, agua de cristalización, agua física y sulfuros de la muestra sometida a la fluorescencia de rayos x de energía dispersiva por espectrómetro de absorción atómica.

Esta información puede resumirse de la siguiente manera:

- La cantera CVG-2 tiene más silicatos, lo que en conjunto con otros resultados de este proyecto concuerda con la presencia de texturas con abundantes microfósiles.
- La presencia de diversos óxidos de origen ferromagnesianos propicia las coloraciones rosadas que se encuentran en algunas capas de la localidad, además de los nódulos o inclusive las capas de espesores delgados muy marcadas de limonita que se encontraron en la zona.

7.4 Tafonomía.

7.4.1 Pozos N1SC y N2MC

Como mencioné con anterioridad, las muestras de la localidad de Coahuila no fueron colectadas durante este trabajo, tampoco contamos con muestreo exclusivo para microfósiles, motivo por el cual, los resultados para los pozos de Coahuila serán cortos en comparación con las canteras de Vallecillo, Nuevo León.

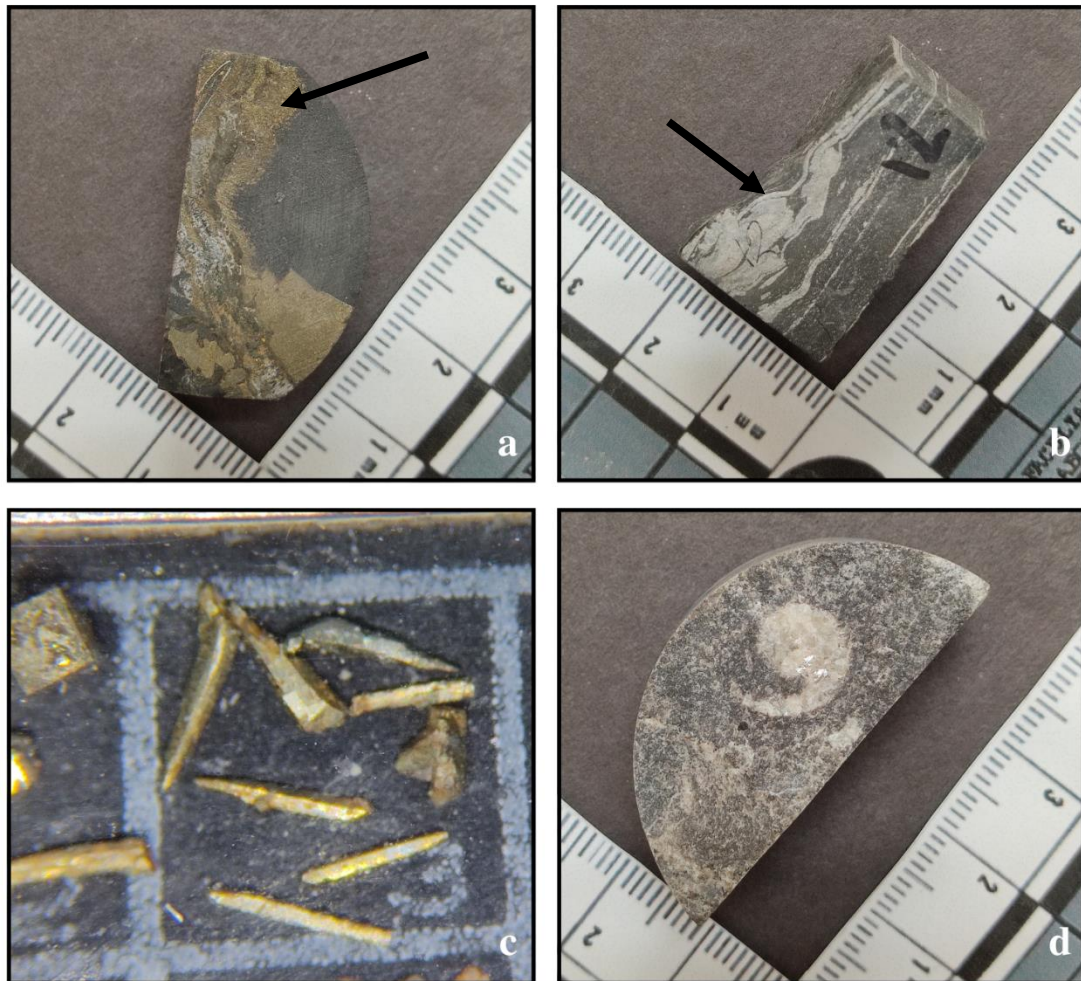


Figura 26. La imagen “a” muestra la pirita en los cortes de los núcleos, mientras que en la “b” los marmoleados grises son cúmulos de hidrocarburo que arrojan un aroma muy fuerte. La imagen “c” son algunos granos microfósiles y granos con pirita y por último la imagen “d” muestra un ammonoideo con calcita.

Las figuras 26 y 27 muestran los procesos tafonómicos que se encuentran en los núcleos de la Fm. Eagle Ford. La presencia de abundante pirita en la localidad es un indicador de actividad microbiana bajo condiciones de poco o nulo oxígeno, y esto tiene relevancia cuando analizamos las texturas de las láminas delgadas y observamos la abundancia de microfósiles, que al morir en estas condiciones anóxicas generan acumulación de materia orgánica que actualmente tiene importancia económica en forma de algún tipo de hidrocarburo.

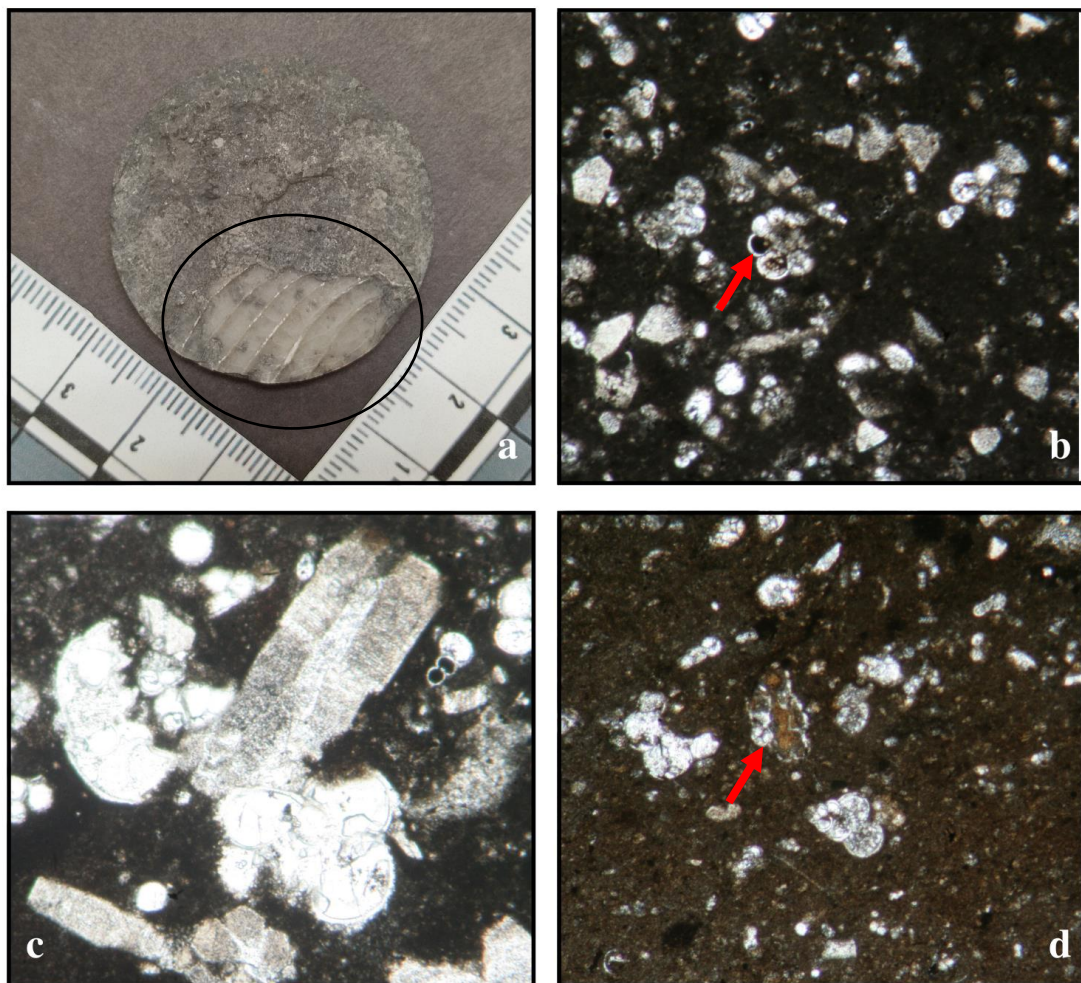


Figura 27. La imagen “a” es el molde externo, la impresión de un *Inoceramus labiatus*. Las imágenes “b y c” muestran que algunos microfósiles tienen impregnación de materia orgánica en sus cámaras internas y la imagen “d” es también una mineralización con óxidos también en el interior de las cámaras.

7.4.2 Canteras en Vallecillo

Los resultados de esta localidad se dividen en microfauna y macrofauna.

7.4.2.1 Microfauna

Una característica tafonómica que se encuentra en esta localidad es la presencia de oxidación que en algunas secciones penetra las cámaras de los microfósiles.

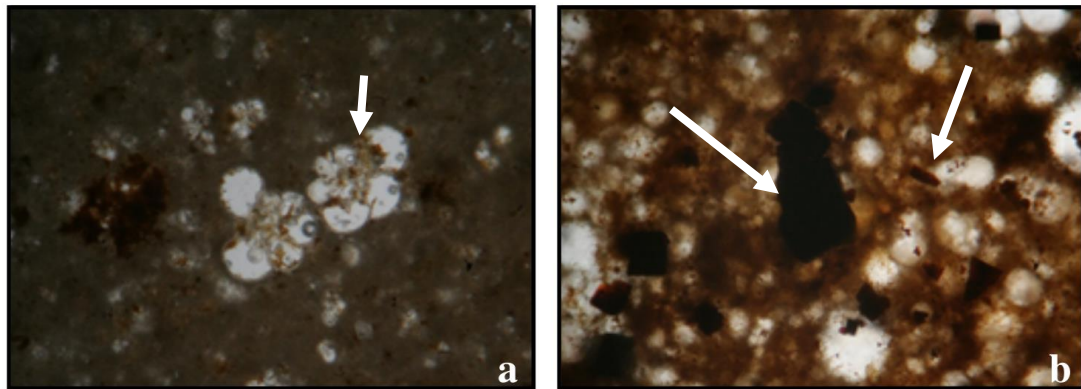


Figura 28. Fotomicrografía: Presencia de óxidos en el análisis de la lámina delgada.

En la Fig. 28 ambas imágenes muestran la presencia de óxidos en diferentes cantidades, la Fig. 28a en las cámaras de los foraminíferos y la Fig. 28b en formato de granos como parte de la microfacie. Los granos rojizos representan los porcentajes de diversos óxidos presentes en las rocas Fe_2O_3 y MgO , por ejemplo.

7.4.2.2 Macrofauna

Se colectaron un total de 89 muestras fósiles, algunos ya expuestos en la sección de taxonomía, pero la gran parte de las muestras corresponden a fragmentos de peces que no

se pudieron identificar, con las cuales se completó la interpretación de la tafonomía del yacimiento de Vallecillo.

Grupo	Número
Peces	53
Bivalvos	18
Ammonoideos	10
Crustáceos	1
Fragmentos	7

Tabla 10. Número de muestras fósiles colectadas por grupo taxonómico.

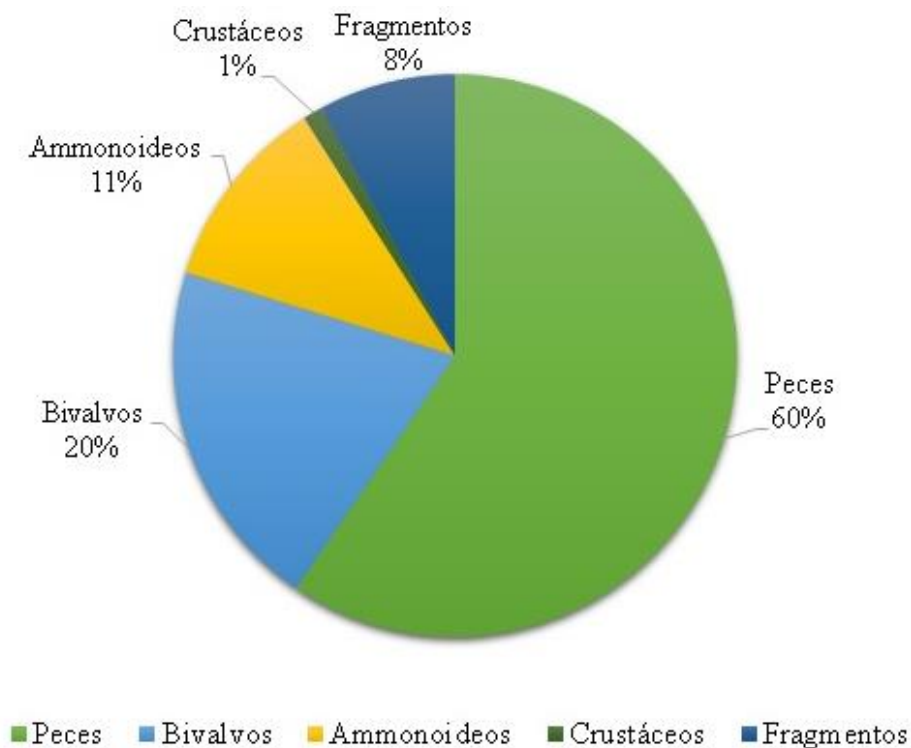


Figura 29. Gráfica en la que aparecen los grupos taxonómicos de las muestras fósiles colectadas en las canteras de Vallecillo, Nuevo León.

Para facilitar la lectura de los resultados, en la tabla 11 aparecen los mecanismos tafonómicos, divididos en sus dos categorías principales, los bioestatinómicos, que suceden previo al enterramiento del cadáver, y los fosildiagenéticos, que son todos los que suceden después del enterramiento. Aunado a esta clasificación, hay que mencionar que

existen 2 tipos de estructuras que van a ser afectadas por los procesos tafonómicos y estos son las estructuras volátiles y las estructuras refractarias. La primera corresponde a las estructuras frágiles que en pocas ocasiones logran quedar registradas, pues son susceptibles a ser consumidas por organismos oportunistas o ser víctimas de la descomposición. Estas estructuras son las partes blandas, la piel, músculos, viseras, etc. La segunda son todas aquellas estructuras resistentes a la descomposición orgánica, y que generalmente dan paso a la formación de fósiles en muy buen estado de conservación.

Procesos Tafonómicos		
Biostratinómicos	Biológicos	Incluye el estudio de los procesos que producen su muerte: *Descomposición de las partes blandas *Marcas de predación *Incrustaciones *Encostraciones
	Físicos	Incluye procesos de acumulación, transporte, erosión de las partes del organismo: *Acumulación *Transporte *Erosión *Enterramiento
	Químicos	Ataque químico de los ejemplares que pueden ser óxidados, disueltos o corroídos total o parcialmente
Fosildiagenéticos	Preservación	La conservación del individuo o de algunas de sus partes en su composición original
	*Intercambio molecular	Se produce entre el ejemplar y la roca que lo envuelve y el resultado es la conservación con una composición diferente
	1) Mineralización	El intercambio molecular afecta a la parte orgánica de los restos
	2) Epigénesis o Recristalización	El intercambio afecta las partes inorgánicas
	Concreción	Cuando se acumulan sustancias químicas alrededor del ejemplar
	Impresión	El sedimento adopta la forma del ejemplar formando moldes internos o externos
	Aplastamiento	Sucede al inicio de la fosildiagénesis por compactación de sedimentos
	Formación de moldes	Partes blandas son rellenadas por sedimentos
	Impregnación	Los huecos pueden ser rellenados por minerales
	Disolución	De los materiales originales del resto orgánico
Reelaboración	El fósil ya formado es movido e incorporado nuevamente a sedimentos mas recientes	

Tabla 11. Creada en base a los criterios de Fernández-López de diversos años (Fernández-López, 1981, 1988, 1997, 1997, 2000, 2001 y 2005).

En las figuras que aparecen a continuación, se irán describiendo los mecanismos observados en el yacimiento fosilífero de Vallecillo y las implicaciones que estos conllevan.



Figura 30. Conservación de sifón y disolución de concha.

La figura 30.1 corresponde a un ammonoideo no identificado, y muestra una estructura conocida como sifón, que es una parte blanda de la anatomía de los cefalópodos, por la cual se moviliza agua para controlar la flotación y desplazamiento de los animales.

Además de ser la preservación de una estructura volátil, el fósil también exhibe un intercambio molecular del tipo mineralización, pues se puede ver una composición a base de óxidos conformando el molde de una de las zonas orgánicas del ammonites. Dicho fósil exhibe también un fenómeno conocido como disolución, en el cual desaparece por completo la concha dejando solo la marca de las líneas de sutura.

En la Fig. 31.2 se observa un fósil de *Goulmimichthys roberti*, y la Fig. 31.3 muestra un acercamiento a la zona ventral del ejemplar, en el que aparece el estómago y los intestinos que inclusive presentan una forma abultada, que indica el contenido de materia fecal al momento de ser enterrados, la presencia de estructuras volátiles indica mineralización de estas. La mineralización implica el intercambio molecular del medio con las partes orgánicas o volátiles de un organismo.

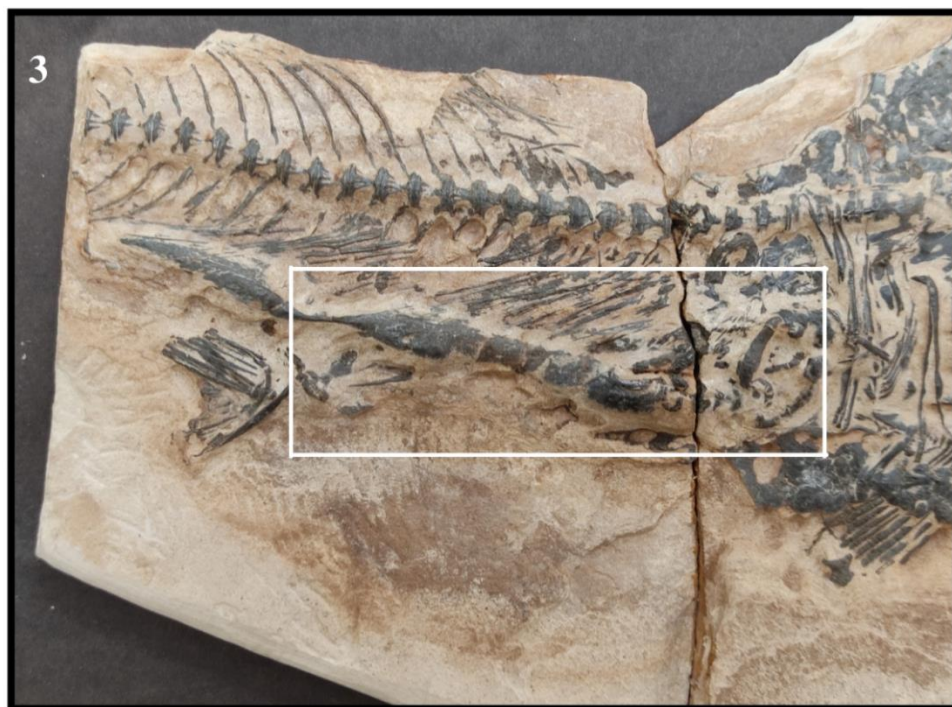


Figura 31. Imagen 2: *Goulmimichthys roberti*. Imagen 3: acercamiento a conservación de partes blandas.

Se puede decir que el cadáver de este ejemplar no fue víctima de los organismos carroñeros de la zona, ni de las bacterias descomponedoras. Los fósiles de las Fig. 30 y 31 son característicos de condiciones que pueden ser de 2 tipos, la primera, una sedimentación muy rápida por una gran cantidad de sedimento y la segunda representadas por condiciones anóxicas.



Figura 32. Imágenes 4 y 5 *Pseudoaspidoceras*, la imagen 6 es un *Mammites nodosoides* y la imagen 7 es el acercamiento de la imagen 5.

En la Fig. 32.4 y 32.5 son ejemplares del género *Pseudoaspidoceras* y la Fig. 32.6 un *Mammites nodosoides* en el que todas las secciones marcadas en círculos muestran incrustaciones de valvas de otros invertebrados, lo que indica una asociación simbiótica que sufrió procesos similares, el primero fue el aplastamiento de las conchas para dar paso a una impresión, dejando un molde externo. El segundo proceso fue la epigénesis (que es el proceso de intercambio molecular de partes inorgánicas o resistentes del ejemplar) de la concha, que en los ammonites estaba formada por aragonito y en otros invertebrados con concha el material principal era el carbonato de calcio, la diferencia química de los materiales originales da lugar a la diferencia en color y textura en el fósil colectado. La Fig. 32.7 es un acercamiento del círculo con la flecha de la Fig. 32.5.

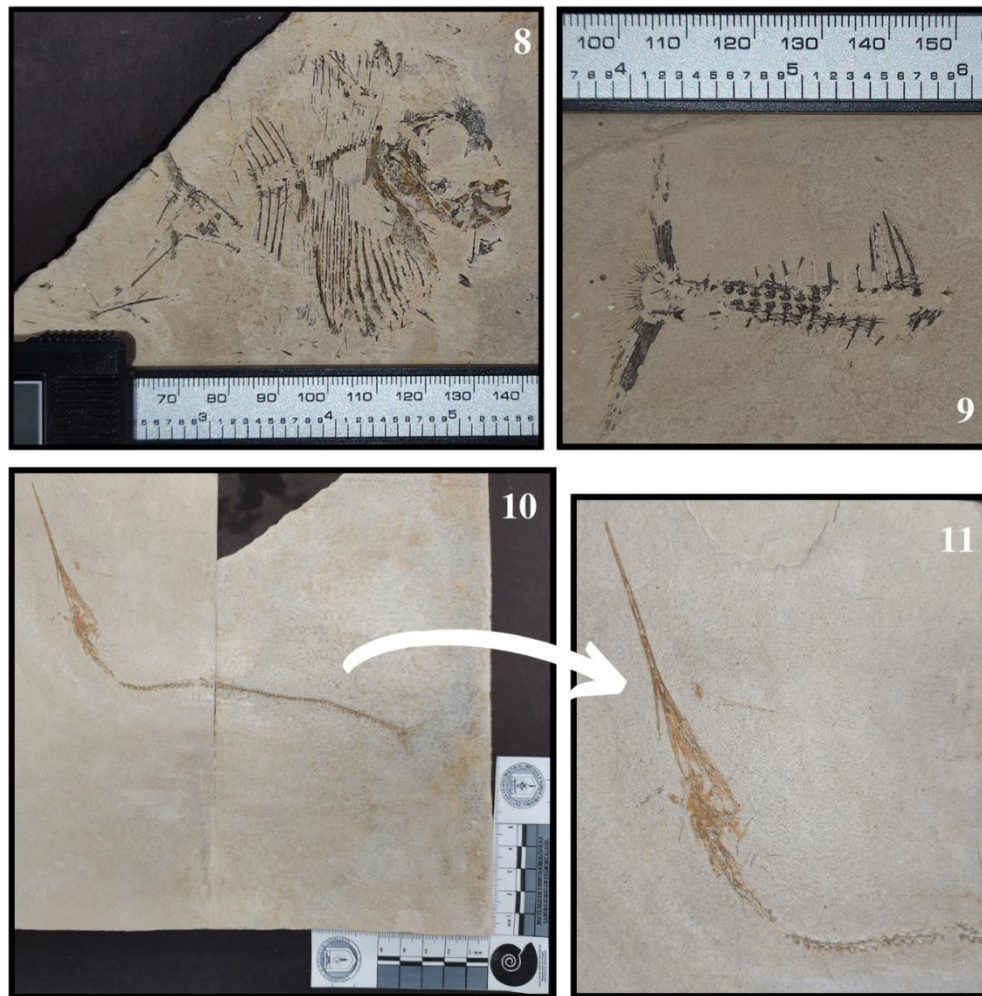


Figura 33. Imagen 8 *Nursallia gutturosum*, imagen 9 *Araripichthys*, imágenes 10 y 11 *Rhynchodercetis*.

Los ejemplares de la Fig. 33 también representan los fenómenos de aplastamiento y epigénesis, debido a que los huesos, vertebras y espinas también constituyen estructuras refractarias y quedaron conservadas en los estratos del afloramiento

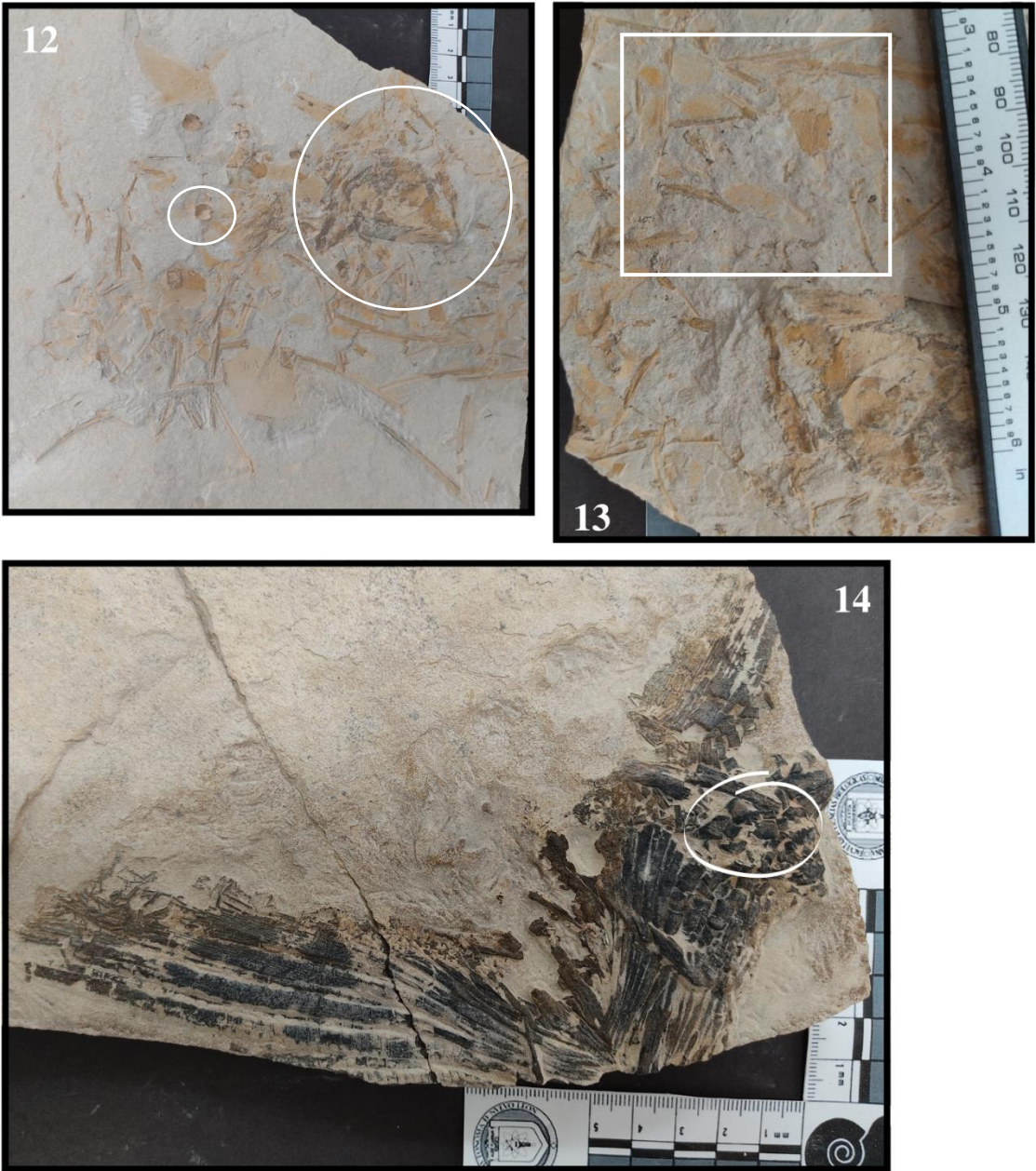


Figura 34. Diferentes estados de desarticulación de partes en las muestras fósiles.

La Fig. 34.14 muestra una aleta de un pachyrizodontido no identificado, en la cual se aprecia el aplastamiento y mineralización de escamas y huesos. Además de que se puede distinguir la desarticulación de las estructuras de la aleta pectoral. Las figuras 34.12 y 34.13 son ejemplos de fósiles de peces no identificados con una marcada desarticulación, en donde se observan vertebras y espinas fuera de la línea anatómica natural del organismo.



Figura 35. *Vallecillichthys multivertebratum*, en zona de muestreo, se observa que está fosilizado paralelamente al estrato de sedimentación. Además, se pueden ver los colores rojizos que indican la presencia de óxidos en la zona.

En la figura 34.14, la sección marcada por la flecha muestra el molde externo de un pez no identificado. Las figuras 35.15 y 36.17 son ejemplos de procesos de concreción, los cuales suceden por acumulación de sustancias alrededor del fósil, es ambos casos óxidos y granos de calcita. Por último, la Fig. 36.16, ejemplifica el proceso de disolución, en este caso, la concha del bivalvo.

Ahora bien, la información anterior describe los procesos tafonómicos que se observan directamente sobre la muestra fósil, pero para poder interpretar el proceso de fosilización, ordenar los cambios por grupo será más eficiente, motivo por el cual, a continuación, se ordenan de invertebrados a vertebrados, mencionando aquí algunas características correspondientes, inclusive al grupo taxonómico al que pertenecen.

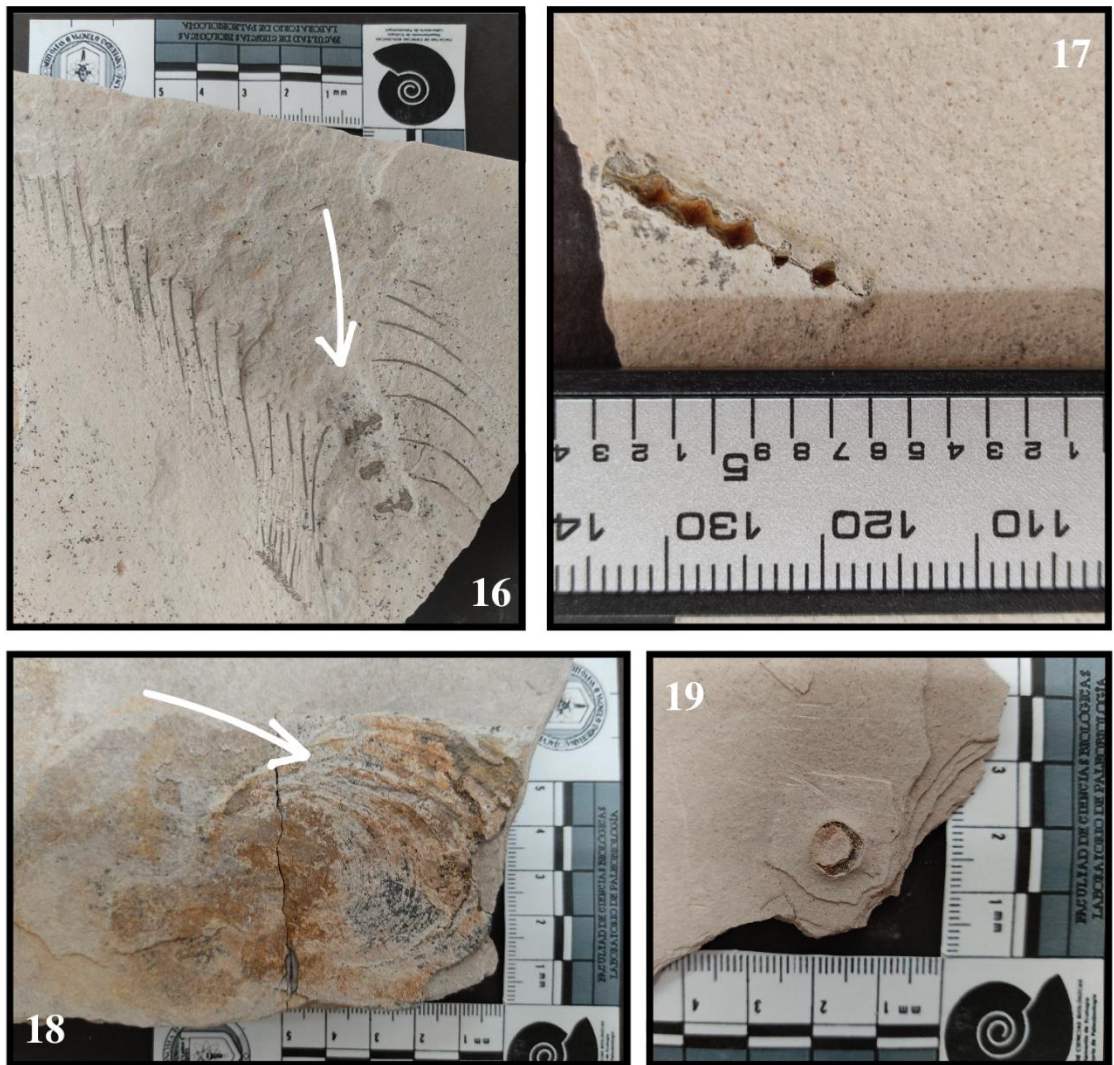


Figura 36. Imagen 16: molde externo. Imagen 17 y 19: concreción de óxidos en fragmentos de vertebras. Imagen 18: concreción de óxidos en *Inoceramus labiatus*.

Primero los bivalvos, los cuales, desde hace tiempo son considerados el fósil índice para la edad Cenomaniano-Turoniano, particularmente el género *Inoceramus*, del cual se identificaron varios ejemplares, en los que principalmente se observa un aplastamiento y posterior epigénesis de la parte inorgánica de sus conchas, pues es sustituido por completo el material original, para pasar a formar una especie de impresión en el sedimento, en coloraciones oscuras. Este color oscuro es un remanente de materia orgánica del momento en el que comenzó el proceso de petrificación de la ahora roca.

Además de esto, importa recordar que los bivalvos de la familia Inoceramidae se distribuían en fondos marinos margosos y profundos, generalmente poco oxigenados. Por lo que se puede decir, que, por sus características ecológicas, la presencia de estos organismos es completamente autóctono al yacimiento fósil y sufrían un enterramiento generalmente rápido y sin desplazamiento al morir.

El siguiente grupo es el de los ammonoideos, constituido por diversos géneros e inclusive especies, y presentan procesos tafonómicos similares a los que tienen los *Inoceramus*, debido a que también se encuentran aplastados con una orientación paralela a la del sedimento y muestran epigénesis de la concha por sustitución química. Uno de los ejemplares presenta la disolución diagenética temprana por disolución del aragonito de la concha dejando solamente la marca del sifón, estructura volátil de difícil preservación, que indica que ese tafón sufrió un enterramiento muy rápido que lo aisló de la actividad bacteriana descomponedora. Otros ejemplares del género *Pseudoaspidoceras*, presentan producción biogénica, que son registros de una asociación simbiótica de un bivalvo que además presenta algo de concreción de minerales y óxidos.

El siguiente grupo está formado por un solo ejemplar, un crustáceo correspondiente a la familia *Cenomanocarcinidae*, que se encuentra aplastado y muestra recristalización de la carcasa, con una marcada desarticulación. Reportes de organismos de este grupo, lo mencionan con conductas de depredación pelágica, algunos además dicen que podría haber tenido tendencias a nadar para depredar organismos. La ausencia de crustáceos en el registro fósil de Vallecillo y el hecho de que el fósil está ligeramente desarticulado es un posible indicador del probable desplazamiento del cadáver de alguna otra región o zona, por lo que podría ser un fósil alóctono al ecosistema.

Por último, tenemos al grupo de los peces, en el que se encontraron algunos organismos completos, aunque principalmente fragmentos, de diversos grupos que se irán desglosando conforme mencione la característica presente en el fósil y lo que representa dicho proceso.

Comenzando con los fósiles completos, y suficientemente completos para ser identificados tenemos un ejemplar de *Goulimimichthys roberti* que muestra una mineralización de partes volátiles, en este caso secciones del sistema digestivo, indicio de que al morir el animal no fue víctima inmediata de la actividad de los carroñeros. Otra característica que se aprecia en dicho fósil es que el esqueleto se encuentra casi completo y en muy bien articulado, señal de que el cadáver murió en el mismo lugar en el que fue enterrado, inclusive dicho carácter indica que la sepultación fue bastante rápida y en una zona de baja actividad del agua. El fósil cuenta también con la mayoría de los dientes y presenta una posición ligeramente abierta de las mandíbulas, rasgo que indica el movimiento de bocanada que hacen muchos peces al ser sacados del agua, que algunos autores asocian a la dificultad de la respiración que sufrieron en condiciones de poca oxigenación. Particularmente este fósil es el más completo de los colectados.

Siguiendo con un género muy abundante entre las muestras, están diversos ejemplares de *Rhynchodercetis*, encontrándose algunos casi completos, uno de ellos muestra una impregnación de óxidos en todas las vértebras del molde de la columna y la cabeza. Se encontraron varios cráneos con aplastamiento y epigénesis, pero con una evidente desarticulación indicando el desplazamiento del cadáver al no contar con las vértebras de la columna o las aletas.

Otro de los géneros abundantes es el de la *Tselfatia*, en las cuales se encontraron algunas bastante completas con concreción de óxidos sobre el fósil. También se encontraron fragmentos de espinas dorsales de este género. Por sus cuerpos discoides y sus aletas dorsales y ventrales bastante grandes es probable que fueran muy buenos nadadores, además, se cree que este género era pelágico y se distribuían en aguas de plataforma abierta.

Otro género encontrado es *Nursallia*, que también se encuentran en diferentes estados de preservación, aunque la desarticulación es mínima entre los identificados.

Vale la pena mencionar un ejemplar muy fragmentado de un pez no identificado, en el que se encuentra bastante bien preservada parte de la columna vertebral y una sección de aleta. En este ejemplar también se presenta el aplastamiento que sufren todos los ejemplares encontrados. De manera general el resto de los ejemplares corresponden a moldes externos, fragmentos de espinas aplastadas y con epigénesis, algunos individuos muy desarticulados, que inclusive son indicadores de una tafocenosis por arrastre o movimiento del sedimento en el que estaban depositados los restos, esto inferido por las vértebras que se pueden observar que muestran un acomodo ligeramente perpendicular al plano de sedimentación.

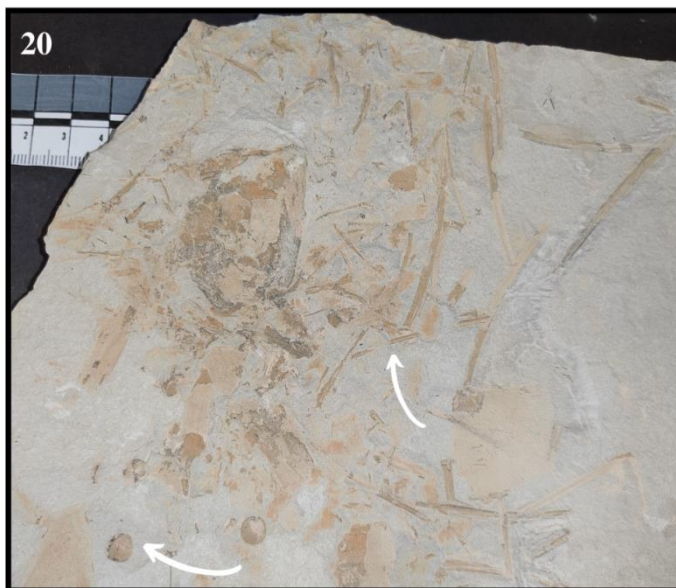


Figura 37. Desarticulación de vertebras y espinas de peces.

Por último, la figura 37.20 muestra un ejemplar de pez no identificado con una articulación muy marcada, indicado con la flecha se observan fragmentos de espinas, vertebras y se aprecia el cráneo del ejemplar. La figura 37.21 muestra vertebras y espinas de un ejemplar de talla grande, se nota la desarticulación, e inclusive se puede ver que las vértebras se encuentran acomodadas tanto paralelamente como perpendicularmente en el fragmento fósil.

7.5 Paleoambiente

Al igual que en las secciones pasadas, los resultados se dividen por localidad, comenzando con la localidad de Coahuila y concluyendo con el afloramiento de Nuevo León, además de que también se reportan primero los resultados del análisis micropaleontológico y después lo referente a la macrofauna.

7.5.1 Pozos N1SC y N2MC

Para resumir los resultados del análisis micropaleontológico se elaboraron las siguientes tablas, de las que la interpretación arroja indicios del ambiente en el que sucedió la fosilización.

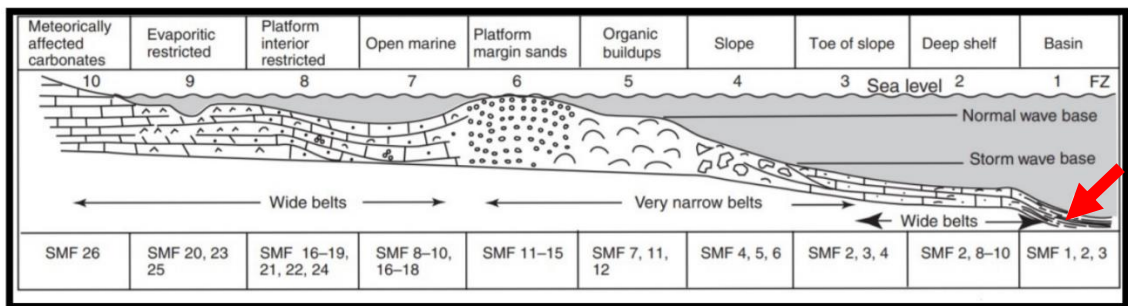
N1SC						
#	Lámina	Textura	Matriz	Microfacie	Color Fresco	Color Intemperizado
1	N1-L01	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N7	N6
2	N1-L02	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N6	N7
3	N1-L03	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N5	N6
4	N1-L04	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N2	N3
5	N1-L05	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N2	N3
6	N1-L06	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	5YR 4/1	N6
7	N1-L07	Mudstone	Micrita	SMF 3-FOR	N7	10YR 6/2
8	N1-L08	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N3	N3
9	N1-L09	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N7	N6
10	N1-L10	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N4	N3
11	N1-L11	Wackestone	Esparita	SMF 3-FOR	N2	N3
12	N1-L12	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N3	N4
13	N1-L13	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N5	N6
14	N1-L14	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N3	N3
15	N1-L15	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N3	N5
16	N1-L16	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N3	N4
17	N1-L17	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N6	N5
18	N1-L18	Packstone	Micrita	SMF 3-FOR	N2	N3
19	N1-L19	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N2	N2
20	N1-L20	Mudstone	Micrita	SMF 3-FOR	N7	5Y 6/1
21	N1-L21	Mudstone	Micrita	SMF 3-FOR	N6	N4
22	N1-L22	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N6	N5
23	N1-L23	Mudstone	Micrita	SMF 3-FOR	N5	N6
24	N1-L24	Wackestone	Permicrita	SMF 3-FOR	N8	N7
25	N1-L25	Wackestone	Micrita	SMF 3-FOR	N7	N5

Tabla 12. Resultados del análisis por laminilla del núcleo N1SC.

N2MC						
#	Lámina	Textura	Matriz	Microfacie	C. Fresco	C. Intemperizado
1	N2-L01	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
2	N2-L02	Packstone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
3	N2-L03	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
4	N2-L04	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
5	N2-L05	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
6	N2-L06	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
7	N2-L07	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
8	N2-L08	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
9	N2-L09	Wackestone	Micríta	SMF 3-RAD	sin datos	sin datos
10	N2-L10	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
11	N2-L11	Packstone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
12	N2-L12	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
13	N2-L13	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
14	N2-L14	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	sin datos	sin datos
15	N2-L15	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N3	N5
16	N2-L16	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N4	N5
17	N2-L17	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N5	N7
18	N2-L18	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N4	N5
19	N2-L19	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N4	N5
20	N2-L20	Packstone	Micríta	SMF-7	N2	N5
21	N2-L21	Packstone	Micríta	SMF 3-FOR	N3	N4
22	N2-L22	Packstone	Micríta	SMF 3-FOR	N3	N4
23	N2-L23	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N4	N5
24	N2-L24	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N3	N4
25	N2-L25	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N3	N4
26	N2-L26	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N2	N4
27	N2-L27	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N2	N3
28	N2-L28	Wackestone	Biomicríta	SMF 3-RAD	N3	N4
29	N2-L29	Mudstone	Micríta	SMF 3-FOR	N3	N4
30	N2-L30	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N5	N6
31	N2-L31	Microcristalina	Microcristalina	SMF-3	N5	N7
32	N2-L32	Wackestone	Micríta	SMF 3-RAD	N3	N6
33	N2-L33	Mudstone	Micríta	SMF 3	N5	N4
34	N2-L34	Mudstone	Microcristalina	SMF-3	N2	N5
35	N2-L35	Wackestone	Micríta	SMF 3-FOR	N5	N7

Tabla 13. Resultados del análisis por laminilla del núcleo N2MC.

En resumen, de estas tablas y la información que se obtuvo de la identificación micropaleontológica se determinó que el ambiente de depósito para esta localidad corresponde a una zona de transición entre FZ3 que corresponde a margen de plataforma profunda y la FZ1 correspondiente a cuenca profunda con sedimentación lenta. Las microfacies estándar (SMF) que predominan en dicho nivel estratigráfico y que se identificaron a partir de los granos esqueléticos y aloquímicos fueron las SMF3, asignándose entonces para este caso de estudio, SMF3-FOR a la FZ3 y para las SMF3-RAD a la FZ1, esto en base a los parámetros de distribución batimétrica de los grupos de organismos identificados y asociados al resto de las faunas. Los análisis de facies de la Formación Eagle Ford corresponden a las condiciones de depósito durante el Cenomaniano-Turoniano, y define un ambiente de cuenca de depósitos calcáreo-arcillosos con sedimentos de grano fino y estructura laminar. Ambos núcleos (N1SC y N2MC) presentan laminación milimétrica, textura de grano fino, asociación de foraminíferos planctónicos y bentónicos, radiolarios y calciesferas, con presencia de algunos minerales, todas estas características indican un ambiente marino profundo, de aguas tranquilas, bajo condiciones normales de salinidad (30-40%).



Modificado de Boggs 2009

Figura 38. Diagrama de zonas de facies y tipos estándar de microfacies. Marcado con una flecha aparece señalado la zona de cuenca profunda, a la que pertenecen los núcleos N1SC y N2MC, de la Fm. Eagle Ford, en Coahuila, México.

Por otra parte, la presencia del género *Inoceramus* está asociada a condiciones de poco oxígeno, pues está bien reportado que estos individuos se encontraban en zonas de baja oxigenación, corroborando la cuenca profunda que determinaron los análisis de texturas y microfacies.

7.5.2 Canteras en Vallecillo

Al igual que en la localidad de Coahuila, en las tablas 14 y 15 se resumen los resultados del análisis micropaleontológico de las canteras de Vallecillo, Nuevo León.

CVG-1							
#	Lámina	Capa	C. Intemperizado	C. Fresco	Textura	Matriz	Microfacie
1	1CVG_0	0	5YR 7/2	10R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
2	1CVG_1B	1	5YR 7/2	10YR 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
3	1CVG_1T		5YR 6/4	5YR 6/4	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
4	1CVG_2B	2	5YR 7/2	5YR 5/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
5	1CVG_2M		10YR 5/4	5YR 7/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
6	1CVG_2T		5YR 7/2	10R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
7	1CVG_4	4	5YR 7/2	10R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
8	1CVG_6B	6	5YR 7/2	10YR 8/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
9	1CVG_6T		5YR	10R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
10	1CVG_7B	7	5YR	10R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
11	1CVG_7T		5YR 6/4	10YR 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
12	1CVG_8	8	10YR 8/2	10YR 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
13	1CVG_9B	9	5YR 7/2	10R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
14	1CVG_9T		10YR 8/2	5R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
15	1CVG_10	10	5R 6/2	5YR 7/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
16	1CVG_11	11	5YR 7/2	10YR 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
17	1CVG_12	12	10YR 8/2	10YR 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
18	1CVG_13	13	10YR 8/2	5YR 7/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
19	1CVG_14B	14	5YR 7/2	10YR 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
20	1CVG_14T		10YR 7/4	5YR 7/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
21	1CVG_15	15	5YR 5/6	5YR 7/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
22	1CVG_16	16	10YR 5/4	5R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
23	1CVG_17B	17	10YR 6/2	10YR 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
24	1CVG_17M		5YR 6/4	5YR 5/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
25	1CVG_17T		10YR 6/2	10YR 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
26	1CVG_18B	18	10YR 8/2	10YR 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
27	1CVG_18T		10YR 8/2	10R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
28	1CVG_19	19	10YR 8/2	5R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR

Tabla 14. Resultados del análisis por laminilla de la cantera CVG-1.

CVG-2							
#	Lámina	Capa	C. Intemperizado	C. Fresco	Textura	Matriz	Microfacie
1	2CVG_1B	1	5R 6/2	10R 2/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
2	2CBG_1T		10YR 7/4	5R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
3	2CVG_2	2	5YR 7/2	5R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR
4	2CVG_3T	3	10R 6/2	5R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
5	2CVG_4B	4	10R 6/2	5R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
6	2CVG_4M		10R 6/2	5R 4/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
7	2CVG_4T		5YR 7/2	5YR 6/4	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
8	2CVG_5B	5	10YR 8/2	5YR 7/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
9	2CVG_5T		10YR 6/2	5R 6/2	Mudstone	Micrítica	SMF 3-FOR
10	2CVG_6T	6	10YR 4/2	10R 6/2	Wackestone	Micrítica	SMF 3-FOR

Tabla 15. Resultados del análisis por laminilla de la cantera CVG-2.

Aunque a simple vista la microfacie es la misma para los dos afloramientos, en la sección de taxonomía y analizando la textura de las láminas preparadas, si se encuentran condiciones diferentes. Por ejemplo, la variación en porcentajes de aloquímicos es relevante, debido a que en la Fm. Eagle Ford los porcentajes son altos (>30%) mientras que en la Fm. Agua Nueva los porcentajes son bajos (<10%) con algunos picos de texturas de aloquímicos, foraminíferos de comportamiento bentónico. La realidad es que el paleoambiente no va a ser interpretado solamente del análisis micropaleontológico. Es por ese motivo por lo que la incorporación de los mecanismos tafonómicos hace más certera la recreación del ambiente primitivo en el que sedimentaron estas rocas y fósiles.

Teniendo esto claro, es importante incorporar lo que se conoce de la biología de los grupos taxonómicos, analizando las morfologías y lo que se cree que esto representa, cadenas tróficas, relaciones: depredador y presa, con algún tipo de simbiosis.

Por ejemplo, la presencia de bivalvos se asocia a bentos, debido a que se encuentran distribuidos en los sedimentos del fondo marino, aunque pueden estar desde la línea de costa, hasta zonas de cuenca profunda.

En el caso de los ammonites, las formas de sus conchas, la presencia de ornamentaciones inclusive el tamaño, refleja zonas en las que se distribuyen. Es por eso por lo que los ammonites son engañosos, pues sus cadáveres sufrían transporte

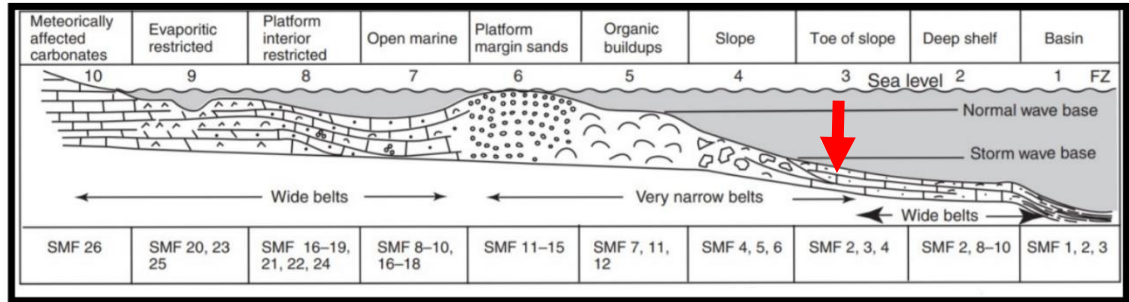
dependiendo la zona en la que se encontraban, de modo que, los mecanismos tafonómicos ayudan a definir qué sucedió previo al enterramiento.

Por ejemplo, por efecto del peso de las conchas, organismos grandes tienden a sufrir menos desplazamiento. Otro indicados es la presencia de partes blandas, el ápticus, una parte exclusiva de los ammonites, que le servía para proteger sus tentáculos, y que no es tan frecuente en el registro fósil, indica que el organismo fue sepultado rápidamente y no sufrió depredación ni descomposición bacteriana. Gracias a sus características, los ammonites son fuertes indicadores de las relaciones del ecosistema primitivo.

Por último, Vallecillo tiene una fuerte presencia de diversos grupos de peces, los cuales por motivos similares a los de los ammonites, son fuertes indicadores de condiciones ecológicas. De tal modo que el estado en el que se encuentra algún grupo particular de peces sirve para corroborar estas condiciones.

Para cerrar esta sección se puede resumir que, la edad litológica corresponde al Cenomaniano-Turoniano para ambas localidades indicado esto por el contenido microfaunístico. El paleoambiente del afloramiento de la Fm. Eagle Ford, corresponde a una cuenca profunda, con baja actividad del agua y poco oxígeno que propició la acumulación de materia orgánica, quedando registrado inclusive en el interior de las cámaras de los foraminíferos.

Por su parte el afloramiento de la Fm. Agua Nueva, en Vallecillo Nuevo León también presenta condiciones de baja oxigenación, pero son reportadas de forma diferente. Por ejemplo, el análisis micropaleontológico nos ayuda a ubicar al ambiente de depósito en una plataforma externa o incluso cuenca profunda, y la presencia de los diferentes grupos taxonómicos y sus procesos de fosilización nos indican condiciones de fosilización Konservat-Lagerstätte, específicamente del fenómeno de “depósito de estancamiento” que se forma en ambientes de baja a moderada profundidad, que sufren un aislamiento o estancamiento, generando la anoxia local de la zona. Al suceder el estancamiento y comenzar la anoxia. Al no haber depredadores, ni movimiento del agua por el estancamiento, la sedimentación se consigue en condiciones tranquilas y los fósiles quedan muy bien preservados.



Modificado de Boggs 2009

Figura 39. Diagrama de zonas de facies y tipos estándar de microfacies. Marcado con una flecha aparece señalado la zona de plataforma externa, justo bajo la zona de oleaje, característica que favorece la conservación fósil de la localidad, en las canteras CVG-1 y CVG-2 en Vallecillo, Nuevo León, México.

7.6 Correlación estratigráfica/bioestratigráfica.

En paleontología y geología cuando se habla de una correlación se hace referencia a la comparación de características que se están analizando, como el que los estratos pertenecientes a la misma época se caracterizan por un contenido en fósiles similar. Este principio, en la práctica, es cierto, pero presenta diferencias que se encuentran y asocian a otros factores como las barreras físicas o el clima que había en cada lugar.

Para resumir la correlación de las dos localidades, en la siguiente tabla aparecen similitudes y diferencias.

Correlación de las localidades		
Localidad	Fm. Eagle Ford	Fm. Agua Nueva
Textura	Wackestone/Packstone	Mudstone
Microfacies	1 SMF 3-FOR	3 SMF 3-FOR
Edad	Cenomaniano-Turoniano (límites inferior) entre 94 y 92 m.d.a.	Cenomaniano medio-Turoniano tardío de 94 y 90 m.d.a.
Ambiente de depósito	Cuenca profunda	Plataforma externa
Paleoambiente	Mar abierto	Mar abierto

Tabla 16. La correlación de las localidades marca las diferencias entre los afloramientos.

Por ejemplo, los caracteres de textura y microfacie están muy relacionados, y aunque la microfacie es la misma, la textura al ser distinta genera interpretaciones diferentes para cada sitio muestreado. Por su parte la edad, aunque muy similar en ambos puntos de colecta, la Fm. Eagle Ford por el contenido microfaunístico representa un periodo de menor temporalidad, indicada por los límites de dos edades (Cenomaniano-Turoniano) que corresponde a 94 a 92 m.d.a., en cuanto a la Fm. Agua Nueva, se extiende ligeramente

el tiempo geológico de 94 a 90m.d.a. aproximadamente, esto interpretado a partir del contenido tanto de los microfósiles como de los fósiles macroscópicos. El ambiente de depósito se refiere a la zona en la que sedimentó la ahora roca, pero no hay que confundirlo con el paleoambiente, que resulta del sumar las características previamente mencionadas en las tablas 12, 13, 14 y 15 y factores extras que no aparecen pero que se mencionaron en la sección de resultados, como lo serían las características geoquímicas de las rocas y los análisis tafonómicos del registro fósil.

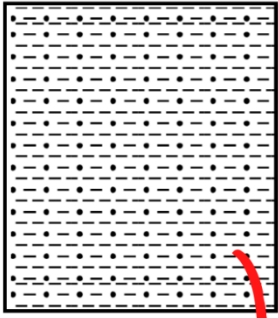
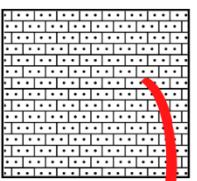

		Coahuila	Formación	Nuevo León
Mesozoico	Cretácico Superior	Turoniano 93.9-89.8 m.d.a.	← 94-92 m.d.a	 94-90 m.d.a Mudstone
		Cenomaniano 100.5-93.9 m.d.a.	 Wackestone-Packstone 	
			Eagle Ford	

Tabla 17. Correlación de edades y texturas de las localidades analizadas.

Es importante mencionar que existe sesgo de información, pues no se hicieron los mismos análisis en las dos localidades muestreadas, pero se espera que este trabajo sirva para que cada vez sea más frecuente que se integren múltiples factores en las reconstrucciones paleoambientales, porque como cosa curiosa, se siguen interpretando ambientes pasados con características ecológicas actuales, cuando las condiciones del planeta eran diferentes a las de la actualidad, empezando con que el día no tenía la misma cantidad de horas.

Para concluir las reconstrucciones paleoambientales quedan de la siguiente manera:

- Pozos N1SC y N2MC en Múzquiz, Coahuila: la sedimentación y posterior litificación de los sedimentos se dio en una cuenca profunda, a nivel de mar abierto, el género *Inoceramus* está asociado a niveles bajos de oxígeno, pero particularmente las concreciones de pirita en las testas de algunos foraminíferos indica la actividad de bacterias anoxigénicas que comenzaron a actuar en estas condiciones que se estaban generando por la excesiva productividad de microorganismos marinos en este caso los foraminíferos y radiolarios encontrados en las láminas. En el caso de nuestra zona de deposición, al ser una cuenca profunda, los cadáveres caían por acción de la gravedad y la tranquilidad del fondo marino permitió su sedimentación. La presencia de calciesferas ha sido asociada a ambientes cálidos, en este caso, en mar abierto. Aunque a nivel de cuenca profunda no llega luz solar, lo que limitaría la presencia de organismos, podemos intuir que la extensión de océano en toda su profundidad abundaba en especies de peces, y reptiles que han sido reportados por diferentes autores para esa localidad, pero que desgraciadamente en este proyecto no podemos agregar a los registros.
- CVG-1 y CVG-2 en Vallecillo, Nuevo León, México: la sedimentación y posterior litificación del sedimento se dio bajo condiciones particulares. La región de Vallecillo ha sido mencionada como zona “Konservat-Lagerstätte” regiones en la que la conservación del registro fósil es impresionantemente buena. Este tipo de fosilización se restringe a pocos sitios del planeta y el material que se ha reportado desde su descubrimiento en la década de los noventa del siglo pasado, ha sido reconocido alrededor del mundo. Los eventos que favorecieron la excelente preservación del yacimiento incluyen la posición geográfica de la zona durante el Turoniano que era una pequeña península, la zona de deposición localizada en la plataforma external, bajo el fenómeno de “depósito de estancamiento” que se forma en ambientes de baja profundidad en el que se da un aislamiento pudiendo ser geográfico o por acumulación de sedimentos, generando la anoxia local de la zona. Al no haber carroñeros para los cadáveres, ni movimiento del agua por el estancamiento,

la sedimentación se consigue en condiciones tranquilas y los fósiles quedan muy bien preservados.

8. DISCUSIÓN

La geología de las localidades corresponde a sedimentos marinos que litificaron bajo distintas condiciones durante el Cretácico Superior en el Noreste de México. El análisis de las muestras de roca tiene diferentes propósitos en la paleoecología. Empezando con la descripción litológica, Blanco-Piñón *et al.* (2001) dice que las capas fosilíferas de Vallecillo (Fm. Agua Nueva) alcanzan un espesor visible de 4 m y consisten en margas rosa de entre 5 cm y 10 cm de espesor, con laminación paralela al estrato de escala milimétrica. Posteriormente Blanco-Piñón (2003), reportó la presencia de calizas de color gris oscuro y lutitas calcáreas laminares en capas individuales de aproximadamente 30 cm de espesor. En nuestro muestreo de la localidad corroboramos que tanto los espesores como las coloraciones son como las descritas por el autor previamente mencionado y que muchas de las capas presentan la característica laminación milimétrica, que es el factor de formación de la famosa “piedra de Vallecillo” El Servicio Geológico Mexicano (sin fecha) hace una recopilación de diversos trabajos descriptivos de las regiones en donde aflora la Fm. y la describe de la siguiente manera: “En general predominan las coloraciones grises y gris oscuro; la estratificación es en capas delgadas a medias en la base y laminares en la parte media y superior, son comunes los cuerpos de espesor medio y grueso en las lutitas y las margas” tomando en cuenta esto, Blanco-Piñón (2003) propone el nombre "Miembro Vallecillo". Evidentemente la región de Vallecillo tiene características únicas que no se reportan en el resto de los afloramientos de la Fm. Agua Nueva, y sería interesante profundizar esta propuesta.

Igualmente, la Fm. Eagle Ford descrita por el Servicio Geológico Mexicano (2016) es principalmente lutita calcáreo-carbonosa con láminas muy quebradizas, de color gris oscuro y café claro con caliza arcillosa de estratificación delgada, que intemperiza a color café amarillento interestratificado con lutita calcárea de color gris oscuro que se presenta en horizontes laminares y forma capas de 2.5 cm y 10 cm y esporádicos espesores de hasta 40 cm de materia orgánica; las calizas presentan una textura wackestone, dispuestas en horizontes laminares, que le proporcionan a la roca la formación de lajas. Los núcleos analizados de esta formación presentaron 4 litofacies: 1. lutita calcáreo-carbonosa, 2. caliza de microfósiles, 3. caliza arcillosa de microfósiles y 4. lutita calcáreo-carbonosa. Y

como lo reporta la literatura, la Fm. Eagle Ford es históricamente de importancia económica debido a que estas capas “de materia orgánica” son hidrocarburos que se explotan por compañías petroleras. Los núcleos analizados presentan estas capas en forma intercalada con lutitas fosilíferas, además de que se reportan filtraciones de materia orgánica en las cámaras de algunos foraminíferos.

Las edades específicas de los afloramientos se determinan haciendo uso de las biozonas o los fósiles índice, que se encuentran distribuidos en los estratos. Padilla y Sánchez (1978) dice que las dos formaciones pertenecieron a ambientes que existieron en mares durante el Turoniano. De manera general las edades de ambas formaciones pertenecen a las edades del Cenomaniano-Turoniano y dependiendo la zona en la que aflora la formación rocosa puede incluir a las dos edades, o ser exclusiva para el Cenomaniano o el Turoniano. La presencia de *Inoceramus labiatus* indica la edad del Turoniano y los microfósiles *Rotalipora* sp., *Whiteinella archeocretacea*, y *Helvetoglobotruncana helvetica* se asocian a edades del Cenomaniano-Turoniano. Los géneros *Dicarinella* y *Marginotruncana* se distribuyen exclusivamente en el Turoniano y Cenomaniano. Las muestras de lámina delgada de ambas localidades presentan aproximadamente las mismas especies de microfósiles, la diferencia principalmente se concentra en la abundancia observable bajo el objetivo del microscopio, presentando la Fm. Eagle Ford texturas wackestone y packstone principalmente, mientras que la Fm. Agua Nueva es predominantemente mudstone. Las especies macroscópicas de la Fm. Eagle Ford se limitan al *Inoceramus labiatus*, debido a la cancelación de la salida a dicha localidad, aunque si hay múltiples reportes (PEMEX, 1988) de fósiles de peces y reptiles marinos, cosa que desgraciadamente no pudimos reportar.

Al igual que Ifrim y Stinnesbeck (2007), se encontraron diversos géneros de ammonoideos en la región de Vallecillo. Entre dichos géneros están los siguientes: *Tragodesmoceras*, *Pseudaspidoceras*, *Mammites*, *Placentoceras* y *Vascoceras*. Y tal como Blanco-Piñón (2003) y Blanco-Piñón *et al.* (2003, 2005 y 2007), también se reportamos a peces de los grupos lamniforme, pycnodóntido, *Nursallia gutturosum*, *Ichthyodectoidei*, *Pachyrhizodontoidei*, *Goulmimichthys roberti*, *Rhynchodercetis*, *Tselfatia formosa*, y un último, de *Araripichthys*. La nueva adición a la lista que se reporta

en esta investigación es la presencia del crustáceo del género *Cenomanocarcinus* que no aparece en ningún registro de los afloramientos de Vallecillo.

El análisis geoquímico resultó ser un problema desde el inicio. Primero la literatura es muy limitada, además de que en geoquímica se incluyen una gran diversidad de análisis que, aunque puede llevar a interpretaciones próximas, no hay manera de comparar peras con manzanas. Otra limitante que contribuye a esta casi inexistente literatura es el costo de los análisis geoquímicos siendo estos muy elevados para completar, aunque se tenga la intención de incluirlos para darle significancia a los análisis posteriores, el número de muestras que se termina procesando resulta ser muy baja. En Ifrim (2006) se hace uso de los elementos trazas y haciendo una comparación con nuestros resultados geoquímicos la abundancia de CaO, y la presencia de compuestos de origen calcófilo presentes que se acumularon en los sedimentos de Vallecillo se infiere que se formaron por precipitación de sulfuros que luego se transformaron en óxidos de Fe. Esto refleja una química del agua de mar que es notablemente diferente de la composición normal, llegando nuevamente a la conclusión de que existía una oxigenación baja en el fondo marino. Los resultados del análisis geoquímico corroboran sus resultados, pues evidentemente los elementos calcófilos son abundantes y es probablemente la abundancia de estos la que otorga las típicas coloraciones rosadas presentes en Vallecillo. De las muestras de los núcleos de Coahuila no se hicieron pruebas, pero tenemos presencia de piritita en abundancia, que podemos determinar gracias a su característico clivaje en cubos y que también cae en la categoría de estos elementos y compuestos de la familia de los calcófilos.

Lo que considero la parte más interesante de la investigación son los análisis tafonómicos, para los cuales la literatura ya no resultó ser un problema. Blanco-Piñón (2003), indica que, en la región de Vallecillo, las partes refractarias presentan diferentes estados de preservación debido a la distinta composición química que tiene cada una de ellas. El autor remarca la importancia de conocer el grupo al que pertenece, debido a las diferencias entre el aragonito de la concha de los ammonoideos y el calcio de los huesos de los diversos peces y reptiles que generan diferencias en los fósiles. Blanco-Piñón (2003) reporta cementación de los vertebrados y neomorfismo en bivalvos. El reemplazamiento del material original en ejemplares de peces, por ejemplo, al ser

completamente sustituido el fosfato de calcio por carbonatos. También menciona que las escamas de algunos especímenes de Pycnodontes e Ichthyodectiformes, han sido reemplazados por calcita, o que en ejemplares de Ichthyodectiformes y Tselfatiformes el mineral que integra las escamas es principalmente óxido de hierro y no calcita. En el mismo artículo menciona evidencia de partes blandas en ammonoideos, aunque reporta solo en 2 ejemplares. En nuestros resultados la presencia de partes blandas se encuentra en 2 ejemplares bien conservados, uno de ammonite no identificado y otro de un *Goulmimichthys roberti* muy bien preservado, que evidencia el poco desplazamiento del cadáver y que muestra la preservación del estómago y los ciegos intestinales, inclusive de materia fecal.

Además, Stinnesbeck *et al.* (2020) hacen un análisis tafonómico de la especie *Goulmimichthys roberti*, y mencionan la abundancia de individuos completos y articulados en las áreas de Vallecillo y Múzquiz. Ellos indican que los individuos se conservan con la boca abierta y las aletas dorsal, pectoral y pélvica extendidas y lo interpretan como el resultado del estrés respiratorio. Dichas condiciones se reportan en uno de nuestros ejemplares mejor conservados como lo mencioné anteriormente corresponde a esa especie y además tiene partes blandas conservadas que denotan que no sufrió depredación, porque probablemente todos los depredadores estaban sufriendo las mismas condiciones de poca oxigenación.

Ifrim y Stinnesbeck (2007) trabajaron con ammonoideos de Vallecillo y dicen que se encuentran organismos alóctonos, interpretando esto a partir de la ausencia de ápticus unidos a las conchas de los ammonites. Además, mencionan que la buena conservación de las conchas y la presencia de suturas en los moldes son indicadores de que el desplazamiento del cadáver era desde distancias relativamente cortas y que no sufría alteraciones importantes. Dicen, además, que la ausencia de conchas de ammonites de pocos centímetros de diámetro, es debido a la disolución diagenética temprana por disolución del aragonito en ausencia de oxígeno. En nuestro muestreo reportamos un ammonoideo de pocos centímetros (31.4 mm), que solo presenta el fragmacono y una disolución completa de la concha, sin embargo, nuestra interpretación complementa los resultados de los autores, debido a que incluso aunque se sugiere que por su talla y

probable nivel de maduración fue disuelto rápidamente, Ifrim (2006), y después, Ifrim y Stinnesbeck (2007) no terminan por concluir que las condiciones que se observan en el yacimiento de Vallecillo son por un evento local por estancamiento probablemente provocado por una acumulación de sedimentos muy rápida. Ellos indican que la falta de oxígeno del lugar se debe al evento anóxico del Cenomaniano tardío, pero en esta investigación no se encontraron las capas negras de materia orgánica que lo caracterizan, por lo que se infiere que la anoxia es local.

Santamaría-Orozco *et al.* (1991) hace uso de la microfauna e indica que la Fm. Eagle Ford se depositó en un ambiente de cuenca. Morales-Juárez (2019) dice que la cuenca de depósito presentaba condiciones pobres de oxígeno y un alto contenido de sulfuro de hierro, que muy comúnmente se aprecia reemplazando microfósiles de manera parcial o total. Evidentemente al revisar las muestras de los núcleos N1SC y N2MC encontramos la pirita que presenta su clásica apariencia cúbica.

Padilla y Sánchez (1982), habla de la paleogeografía del noreste de México y Texas durante el Turoniano, e indica que el estado de Nuevo León estaba cubierto por depósitos pelágicos. Sohl *et al.* (1991) demuestran que la línea de costa al tiempo del depósito de estos sedimentos se encontraba en la región sur del estado de Texas, en Estados Unidos, lo que indica que entre el área actual de Vallecillo y la hipotética línea de costa existió a una distancia de 700 a 800 Km., estando esta localidad lejos de la influencia de corrientes de alta energía como lo dice Blanco-Piñón (2003). Además, el autor es el primero en mencionar que el afloramiento de la Fm. Agua Nueva en Vallecillo podría pertenecer a una localidad Konservat-Lagerstätte, por la presencia de un sifón en un ejemplar de ammonoideo, propuesta que después fue corroborada en trabajos posteriores de autores alemanes como Ifrim, y Stinnesbeck (2007) y Stinnesbeck *et al.* (2020). Durante la limpieza e identificación de este proyecto encontramos ejemplares que presentan conservación de partes blandas, por lo que también estamos de acuerdo con las afirmaciones de dichos autores. Cabe recordar que la sección de Vallecillo es constantemente explotada para la comercialización de “piedra de Vallecillo” y que tal motivo favorece la falta de fósiles de partes blandas, pues se han perdido del registro.

Barragán *et al.* (2010) argumenta que las correlaciones estratigráficas de dos o más secciones locales relativamente cercanas entre sí permiten reconstruir la geometría de la cuenca en la que se dio el depósito, además de que sirve para indicar los eventos geológicos que sucedieron, y así reconstruir la historia geológica del planeta. Gracias a ella, es posible establecer relaciones de tiempo y continuidad de lugares geográficamente distantes. Las ideas de Fernández-López (1988) complementan los estudios pues él afirma que la unidad bioestratigráfica básica es la biozona, caracterizada por su contenido fósil de corta duración, amplia distribución geográfica, amplia independencia de las facies y otros factores entonces dichas biozonas permiten justificar las correspondientes divisiones cronológicas.

El único antecedente de una comparación estratigráfica fuera de lo obvio de que la presencia de los mismos géneros de microfósiles y las mismas litologías indica una correlación, Stinnesbeck *et al.* (2020), donde hacen una comparación de la edad Cenomaniano-Turoniano en el noreste de México y analizan las diferencias del pachyrhizodonte *Goulimimichthys roberti*, en donde indican que las condiciones de sedimentación difieren en que la ausencia de oxígeno tiene un origen distinto, en Vallecillo por condiciones meramente anóxicas de las aguas, y en Múzquiz por una rápida fosfatación y cobertura de las canales por sedimentos de lodo blando. En este último punto concuerdo con el análisis que hacen, debido a que la presencia de texturas y microfacie diferentes ya es un fuerte indicio de que las condiciones de depósito, aunque de la misma edad, no fueron similares.

9. CONCLUSIONES

Para darle orden a las conclusiones de la investigación seguiré el orden de indicar primero a los núcleos N1SC y N2MC de Coahuila y posteriormente a las canteras CVG-1 y CVG-2 de Vallecillo.

1. Al finalizar el procesado y análisis de las muestras la textura y microfacie para los núcleos de Coahuila fue principalmente **wackestone-packstone** según los criterios de clasificación de texturas de Dunham (1962), y el de microfacies de Wilson (1975) y Flügel (1982) **SMF 3-FOR**. Por su parte las Canteras de Vallecillo presentaron una textura **mudstone-wackestone** y una microfacie **SMF 3-FOR** bajo los mismos criterios.
2. Las dos localidades presentan *Inoceramus labiatus*, que es indicador del Turoniano. Pero los núcleos de Coahuila Tienen las zonas de: *Rotalipora cushmani*, la de *Whiteinella archaeocretacea* y la de *Helvetoglobotruncana helvetica* que solo se distribuyen en el Cenomaniano-Turoniano, (limites) de esta con una edad de entre 94 y 92 m.d.a. Por su parte las canteras de Vallecillo presentan las zonas de *Rotalipora cushmani*, la de *Whiteinella archaeocretacea*, la de *Helvetoglobotruncana helvetica* y la de *Marginotruncana* y *Dicarinella*, lo que se le asigna una edad de Cenomaniano medio-Turoniano tardío de entre 90 y 94 m.d.a.
3. Los resultados anteriores sirven para asignar una interpretación ambiental, por lo que para los núcleos de la Fm. Eagle Ford se asigna un ambiente de depósito de mar abierto en cuenca profunda y para las canteras de la Fm. Agua Nueva se interpreta un ambiente de depósito de mar abierto en una plataforma externa.
4. Los resultados geoquímicos solo se realizaron para las canteras de Vallecillo. La presencia de diversos óxidos de origen ferromagnesianos como Mg y Fe (que se forman de los sulfatos del ambiente anóxico formador de la roca) propicia las

coloraciones rosadas que se encuentran en algunas capas de la localidad, y de los nódulos o inclusive las capas de espesores delgados muy marcadas de limonita que se encontraron en los estratos.

5. En los núcleos de Coahuila hay materia orgánica en las cámaras internas de algunos foraminíferos, donde se da un fenómeno de intercambio molecular de partes blandas originales por materia orgánica distinta a la del origen del ejemplar. Este es un indicador de la sepultación rápida por acumulación de sedimentos. También se reporta concreción de pirita siendo indicador de actividad bacteriana en ausencia de oxígeno. Por su parte las canteras de Vallecillo gracias a la presencia de los diferentes grupos taxonómicos y procesos tafonómicos nos indican condiciones Konservat-Lagerstätte de estancamiento en donde las condiciones de ausencia de oxígeno y los cambios en la química del agua generando la muerte en masa, dejando condiciones muy tranquilas que favorecen la excelente preservación del yacimiento.

6. En los núcleos de Coahuila la sedimentación y posterior litificación de los sedimentos se dio en una cuenca profunda, a nivel de mar abierto, el *Inoceramus* está asociado a niveles bajos de oxígeno, y las concreciones de pirita en las testas de foraminíferos indica la actividad de bacterias anoxigénicas que comenzaron a actuar en estas condiciones, en la que había exceso de producción de microorganismos marinos y empezó a escasear el oxígeno de la zona. En el caso de nuestra zona de deposición, al ser una cuenca profunda, los cadáveres caían por acción de la gravedad al fondo y la tranquilidad del fondo marino permitió su sedimentación. Las calciesferas ha sido asociada a ambientes cálidos. Aunque a nivel de cuenca profunda no llega luz solar, lo que limitaría la presencia de organismos, podemos intuir que la extensión de océano en toda su profundidad abundaba en organismos. Por su parte las canteras de Vallecillo son reconocida como una zona “Konservat-Lagerstätte” por fenómeno de estancamiento por una probable sedimentación rápida generando la anoxia local de la zona. Además, la presencia de minerales calcófilos abundantes en las rocas que se infiere se generó

a partir de la reacción química de los carbonatos de los restos de los individuos en el proceso diagenético de la fosilización interactuando con el agua. Todas estas condiciones descritas propiciaron la excelente conservación de los fósiles de Vallecillo.

10. PERSPECTIVAS

En este trabajo se presenta una investigación de cómo se forma el registro fósil y presenta resultados que deberían de tener seguimiento. Uno de ellos corresponde a la parte geoquímica en la que si se consigue el financiamiento y se complementan en posteriores investigaciones tendría el impacto para determinar si el afloramiento de estratos del municipio de Vallecillo pertenece a un miembro geológico nuevo para la Formación Agua Nueva en Nuevo León.

Por último, la aparición de registros nuevos de organismos después de casi 30 años de investigación en la zona muestra que el afloramiento tiene mucho que ofrecer en diversas áreas de la geología y paleontología.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Albesa, J., J. P. Calvo, L. Alcalá, y A. M. Alonso-Zarza, 1997. Interpretación paleoambiental del yacimiento de La Gloria 4 (Plioceno, Fosa de Teruel) a partir del análisis de facies y de asociaciones de gasterópodos y de mamíferos. Cuadernos de Geología Ibérica. 22: Pp.239-261.
- Alvarado-Ortega J., Blanco-Piñón A., y Porrás-Múzquiz H.2006. Primer registro de Sarodon (Teleostei: Ichthyodectiformes) en la cantera La Mula, Formación Eagle Ford (Cretácico Superior: Turoniano), Múzquiz, Estado de Coahuila, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 23(2). 107-112.
- Ángeles-Cruz C.A. 2006. Geoquímica de rocas sedimentarias jurásicas en localidades fosilíferas de la Sierra Madre Oriental (Tenango de Doria-San Bartolo Tutotepec, Hidalgo): Implicaciones paleoambientales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Barragán, R., E. Campos-Madrigal, I. Ferrusquía-Villafranca, I. López-Palomino y G. Tolson (traductores). 2010. Código Estratigráfico Norteamericano. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Boletín 117: 1-48.
- Behrensmeyer, A. K. 1984. Taphonomy and the fossil record. En American Anthropologist, 72, Pp. 558-565.
- Blanco-Piñón, Alberto. 2003. Peces fósiles de la formación Agua Nueva (Turoniano) en el Municipio de Vallecillo, Nuevo León, NE-México. Doctorado thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Blanco-Piñón A. 2003. Lithographic marls from Vallecillo, N.L. Mexico: Agua Nueva Formation or a new lithologic unit? En: Barremian to Turonian Carbonate Platform Facies in Northeastern Mexico, their Paleogeographic, Paleoceanic, and Paleoclimatic Implications: Comparison with Coeval Facies Elsewhere in the Tethys (Posters) Washington State Convention and Trade Center. November 2.

- Blanco-Piñón A., Garibay-Romero L. M y Alvarado-Ortega J. 2007. The oldest stratigraphic record of the Late Cretaceous shark *Ptychodus mortoni* Agassiz, from Vallecillo, Nuevo León, northeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(2):25-30.
- Blanco-Piñón A., Shimada K y González-Barba G. 2005. Lamnoid vertebrae from the Agua Nueva Formation (Upper Cretaceous: lower Turonian), northeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 22, 19-23.
- Blanco-Piñón A., W. Stinnesbeck, J. G. López-Oliva, E. Frey, T. y Adatte, A. H. González. 2001. Vallecillo, Nuevo León: una nueva localidad fosilífera del Cretácico Tardío en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 18(2): 186-199.
- Blanco-Piñón, A., y Alvarado-Ortega, J., 2006, *Rhynchodercetis regio* sp. nov.; A dercetid fish (Teleostei: Aulopiformes) from Vallecillo, Nuevo León State, Northeastern Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology* 26(3):552–558.
- Boggs Jr, S., y Boggs, S. 2009. *Petrology of sedimentary rocks*. Cambridge University Press
- Caron, M. 1985. Cretaceous planktonic foraminifera. En: Bolli, H. eta/(eds.), *Plankton Stratigraphy*, Cambridge Earth Sciences Series, Cambridge University Press: 1786, 37 figuras.
- Carrillo-Bravo, J., 1971. La Plataforma de Valles San Luis Potosí: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* 23 (1-6):1-102.
- Compton R. 1983. *Geología de Campo*. Editorial Pax. México Librería Carlos Césarman, S. A. Av. Cuauhtémoc, 1434. Col. Sta. Cruz Atoyac. Delegación Benito Juárez 03310 México D.F. Pp. 5-26
- Cushman J.A. 1995. *Foraminifera. Their Classification and Economic Use*. Harvard University Press. U.S.A.
- Degens, E. T. 1965. *Geochemistry of Sediments: A Brief Survey*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 342p.

- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rock according to depositional texture. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. Houston. Texas. Pp. 108-121.
- Fernández-López, S. 2005. Alteración tafonómica y tafonomía evolutiva. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.), 100 (1-4), Pp.149-175.
- Fernández-López, S. 1988. Bioestratigrafía y Biocronología: su desarrollo histórico. En Meléndez, B. Curso de conferencias sobre Historia de la Paleontología. Madrid: Real Academia de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales. pp. 185-215.
- Fernández-López, S. 1988a. La Tafonomía: un subsistema conceptual de la Paleontología. Coloquios de Paleontología, 41 (1986-1987): 9-34.
- Fernández-López, S. 2000. Temas de Tafonomía. Departamento de Paleontología. Universidad Complutense de Madrid.
- Fernández-López, S. 2001. Tafonomía, fosilización y yacimientos de fósiles: modelos alternativos. Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM) e Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), 28040 Madrid. (9.2) 116-120.
- Fernández-López, S. R. 1997. Ammonites, clinos tafonómicos y ambientes sedimentarios. Revista Española de Paleontología, 12:1, 102-128.
- Fernández-López, S. R. 1999. Tafonomía y fosilización. En: Meléndez, B. Tratado de Paleontología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid: 51-107.
- Fernández-López, S. R. 1981. La evolución tafonómica, un planteamiento neodarwinista. Bol. R. Sor. Española Hist. Nat. (Geol.). 79: 243-254.
- Flügel, E., 1982, Microfacies Analysis of Limestones: Berlin, Springer Verlag, 633 p.
- Folk, R. L. 1962. Spectral subdivision of limestone types. American Association of Petroleum Geologist Memoir. 1. Pp. 62-84.
- Fuentes-Pacheco, F. 2004. Cursos cortos para estudiantes. 9º Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica. Mérida, Yucatán, México.

- Garrels, R. M. y Mackenzie, F. T. 1971. *Evolution of Sedimentary Rocks*. W. W. Norton and Company, New York, 397p.
- Gómez-Espinosa, C. y Gío-Argaez R. 2009. La tafonomía, una ciencia nueva que estudia el pasado geológico. *Ciencias* 96, octubre-diciembre, 16-23. [En línea]
- González-García R. y Holguin-Quiñones N. 1992. Las Rocas Generadoras de México. *BOL. AMGP*, Artículo reeditado del VOL. XLII, NUM. 1, 1992, pp. 16-30.
- González-Moreno Y., Flores K, Armstrong-Altrin J. S., Montañó L. S., Ramírez M. y Cadena J. L. 2012. Geoquímica Inorgánica de rocas sedimentarias del afloramiento Deca - Parque Cretácico en la Sierra Cuesta “El Infierno”, municipio de Aldama, Chihuahua (México): clasificación y análisis de procedencia. *XXII_Congreso Nacional de Geoquímica*. 1 al 5 de octubre, 2012. Coatzacoalcos, Veracruz.
- Hollocher, K. 2011. *Making Petrographic Thin Sections*. Geology Department. Union College, Schenectady, N.Y. 12308, USA.
- Ifrim, C. 2006. The Fossil Lagerstätte at Vallecillo, North-Eastern Mexico: Pelagic Plattenkalks related to Cenomanian-Turonian Boundary Anoxia.
- Ifrim, C., y Stinnesbeck, W. 2007. Early Turonian ammonites from Vallecillo, north-eastern Mexico: taxonomy, biostratigraphy and palaeobiogeographical significance. *Cretaceous Research* 28(4): 642–664.
- Ifrim, C., Götz, S., y Stinnesbeck, W. 2011. Fluctuations of the oxygen minimum zone at the end of Oceanic Anoxic Event 2 reflected by benthic and planktic fossils. *Geology*, 39(11), 1043–1046.
- Longoria-Treviño J. F. 2015. Shale gas, los yacimientos de hidrocarburos no convencionales: origen del shale gas. *UNISON / EPISTEMUS* 18 / Año 9/ 2015/ pág.: 52-58.
- López-Ramos, E., 1979, *Geología de México*, Tomo II, 2da. Edición, México, D.F., 454 p.

- Martínez-Contreras J. F. 2015. Estudio Estratigráfico-Geoquímico en petróleo y gas de lutitas de la Formación Eagle Ford, noroeste de Villa Hidalgo, Estado de Coahuila, Noreste de México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Moore, Raymond C., y otros editores (1953 to 2006, and continuing), Treatise on Invertebrate Paleontology, Parts A through W. Boulder, Colorado: Geological Society of America; and Lawrence, Kansas: University of Kansas Press.
- Morales-Juárez S. P. 2019. Reconstrucción paleoambiental de la Formación Eagle Ford en dos núcleos del Noroeste de Coahuila, con base a la macro y microfauna. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Coahuila. Coahuila.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, Pp. 84.
- Muir, J.M., 1936, Geology of the Tampico Region, Mexico: American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 280 p.
- Munsell A. H. 2009. Geological Rock-Color. Geological Society of America (GSA).
- Padilla y Sánchez, R.J., 1978, Geología y estratigrafía (Cretácico Superior) del límite sureste del estado de Nuevo León: Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología, 2(1), 37-44.
- Permanyer A. Sin fecha. La geoquímica orgánica en exploración y producción de petróleo: perspectivas y ejemplos de aplicación. Dpto. de Geoquímica, petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología, universidad de Barcelona.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). 1988. Estratigrafía de la República Mexicana, Mesozoico: México, D.F., Subdirección de Producción Primaria, Coordinación ejecutiva de Exploración, Informe inédito, 216 p.
- Pettijohn, F. J. 1949. Sedimentary rocks. Harpers Inc., New York, 526p.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., y Siever, R. 1987. Sand and sandstone (2nd edition). N. Y. Springer-Verlag. 553 p.

- Santamaría-Orozco, D., Arenas-Partida, R., y Escamilla-Herrera, A., 1991, Normalización de la Nomenclatura Estratigráfica en las Cuencas Mesozoicas de México (Etapa I: Zona Norte. Cretácico), Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto CAO-3052. 140 p. Inédito.
- Seibertz, E., y Buitrón, B.E., 1988, La localidad tipo de la Formación Silitla, San Luis Potosí (Cretácico Superior Basal), Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología, 7(1), 116-118.
- Servicio Geológico Mexicano. 2016. Léxico Estratigráfico, Eagle Ford. Documento tipo pdf (online) disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/EagleFord.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano. Sin Fecha. Léxico Estratigráfico, Agua Nueva. Documento tipo pdf (online) disponible en:
<https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/AguaNueva.pdf>
- Silva-Martínez, L. E. 2014. Estratigrafía y Microfacies de las capas de la Formación Eagle Ford (Cenomaniano-Turoniano) en el Noreste de México: Implicaciones Paleocológicas y Paleogeográficas. N.L., Tesis Doctoral: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sohl, N. F., Martínez, E., Salmerón-Ureña, P. y Soto-Jaramillo, F. 1991. Upper Cretaceous. In: SALVADOR, A: The Gulf of Mexico Basin. (The Geological Society of North America Inc.). Austin: 204-244.
- Stenzel, H. B. 1971. Treatise on invertebrate palaeontology: Mollusca pt.N. Lawrence, KS: Geological Society of America.
- Stinnesbeck, E. S., Rust, J., y Herder, F. (2019). Paleobiology and taphonomy of the pycnodont fish *Nursallia gutturosum*, based on material from the Latest-Cenomanian-middle Turonian Vallecillo platy limestone, Mexico. *Palaontologische Zeitschrift*, 93(4), 659–668.
- Stinnesbeck, E. S., Stinnesbeck, W., Herder, F., y Rust, J. (2020). Taphonomy and paleobiology of the Late Cretaceous (Cenomanian-Turonian) pachyrhizodont *Goulmimichthys roberti* from Vallecillo and Múzquiz, northeastern

Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 543(109607), 109607.

Trask P. D. (ed). 1955. *Recent Marine Sediments*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Tulsa, OK, 736p.

Treatise on invertebrate paleontology vol. 4: Mollusca 4 ammonoidea. 1996. Geological Society of America.

Twenhofel, W. H. 1926. *Treatise on sedimentation*. Williams and Wilkins, Baltimore, 661p.

Twenhofel, W. H. 1950. *Principles of sedimentation* 2nd edn. McGraw Hill, New York, 673p.

Volkman, J. K. 1999. Organic geochemistry. In *Enciclopedia of Geochemistry*. Marshal, C. P. and Fairbridge, R. W. (eds). Kluwer academic publishers. 712 p.

Wilson, J.L..1975. *Carbonate facies in Geologic History*: Berlin, Springer, 471 pp.

12.ANEXOS

Fotografías extras de fragmentos fósiles, muestras en campo y trabajo en el laboratorio

Lámina 1: Trabajo en el laboratorio.



Lámina 2: Fragmentos de peces.



Lámina 3: Fragmentos de peces.



Lámina 4: Fragmentos de peces.



Lámina 5: Fragmentos de peces.



Lámina 6: Fragmentos de peces.

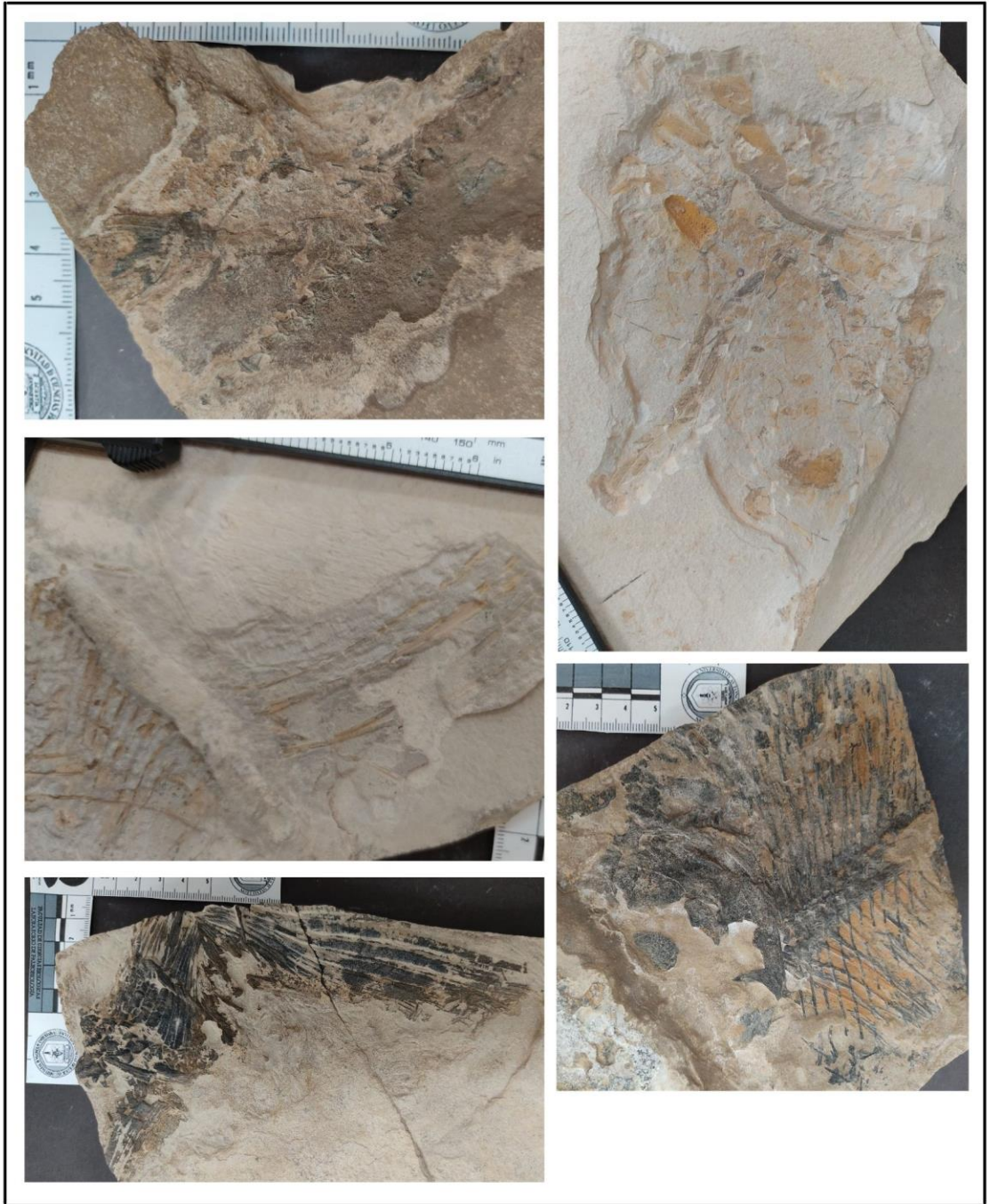


Lámina 7: Fragmentos de peces.

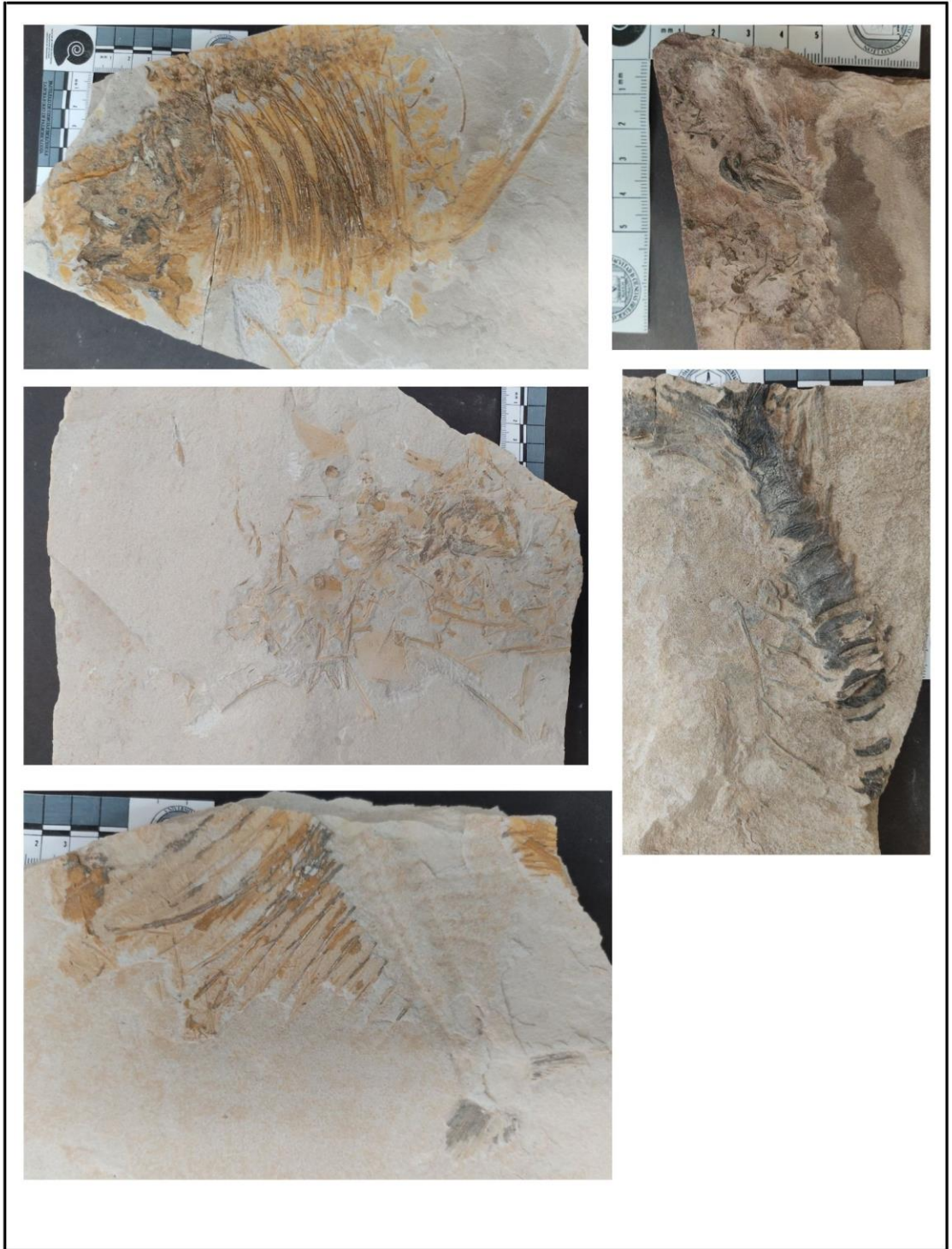


Lámina 8: Fragmentos de peces.

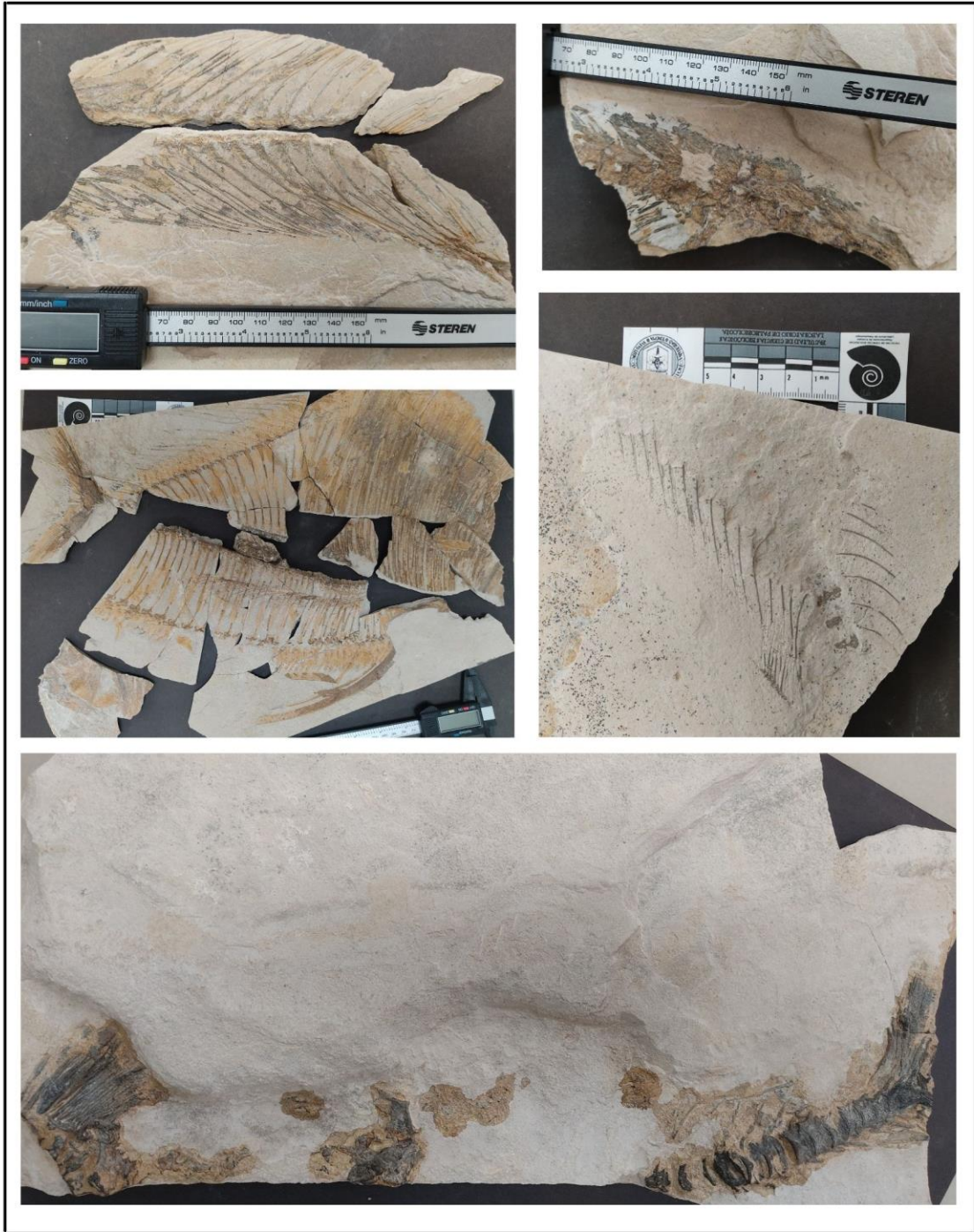


Lámina 9: Fragmentos de peces.

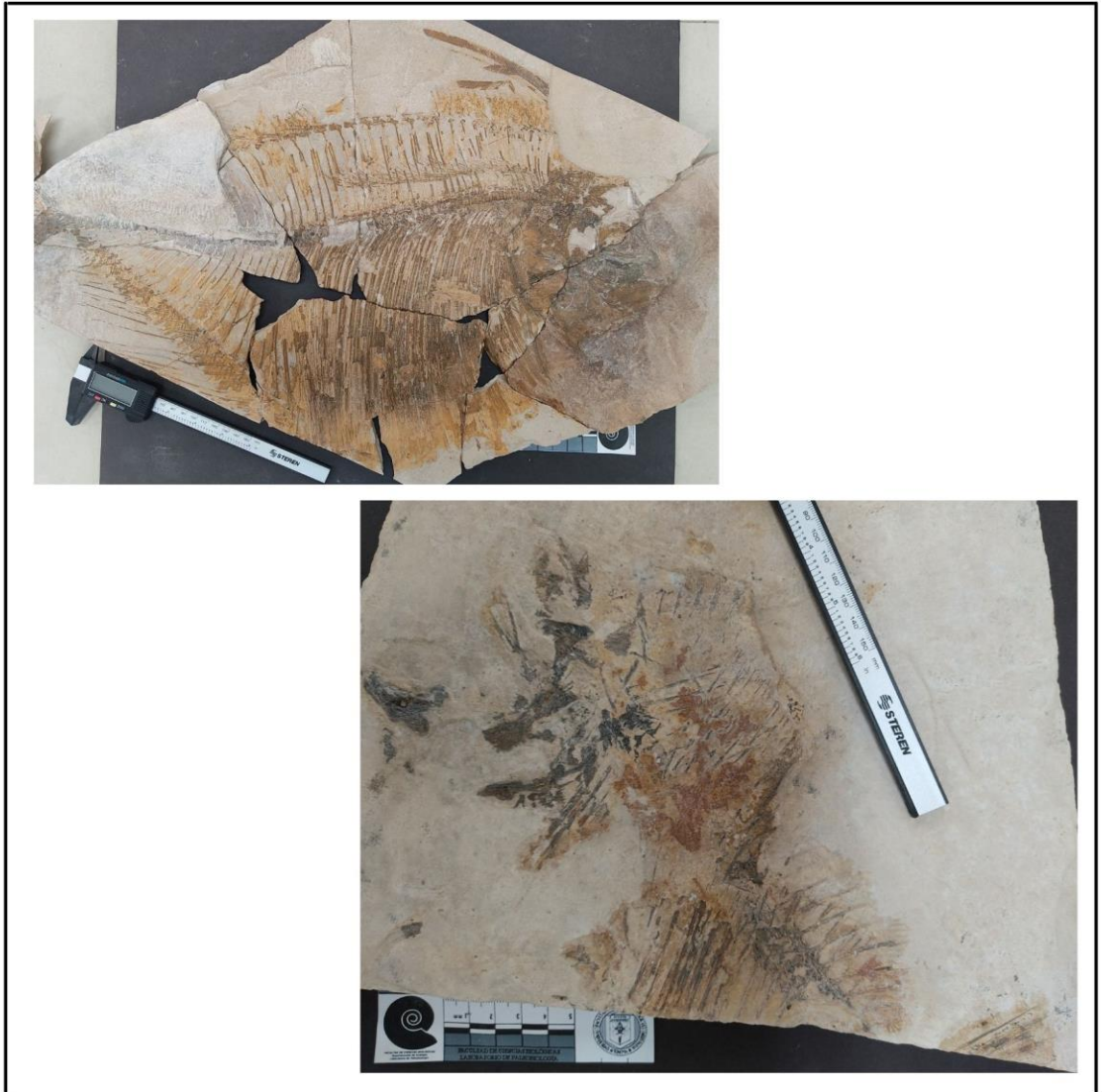


Lámina 10: Bivalvos.

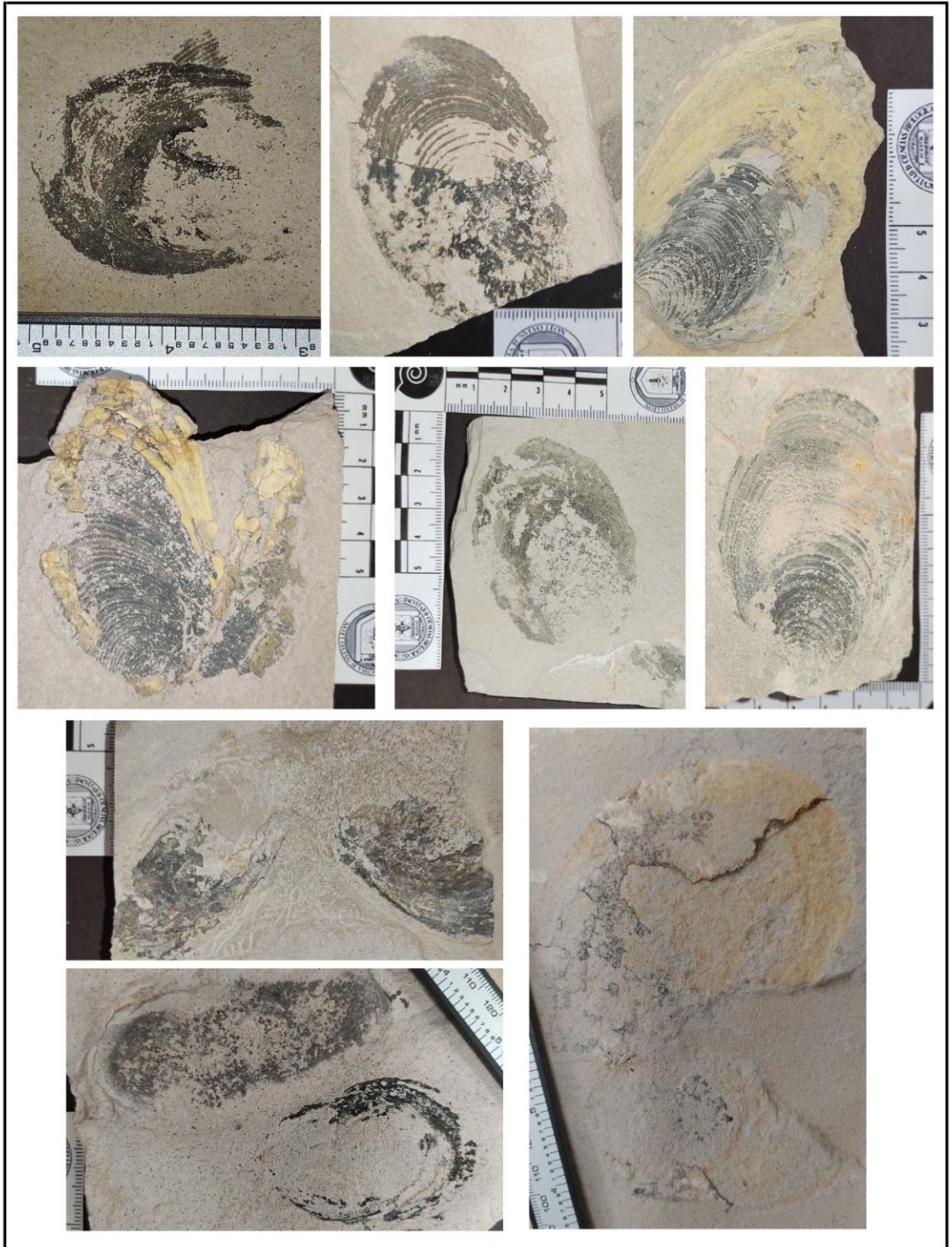


Lámina 11: Ammonoideos.

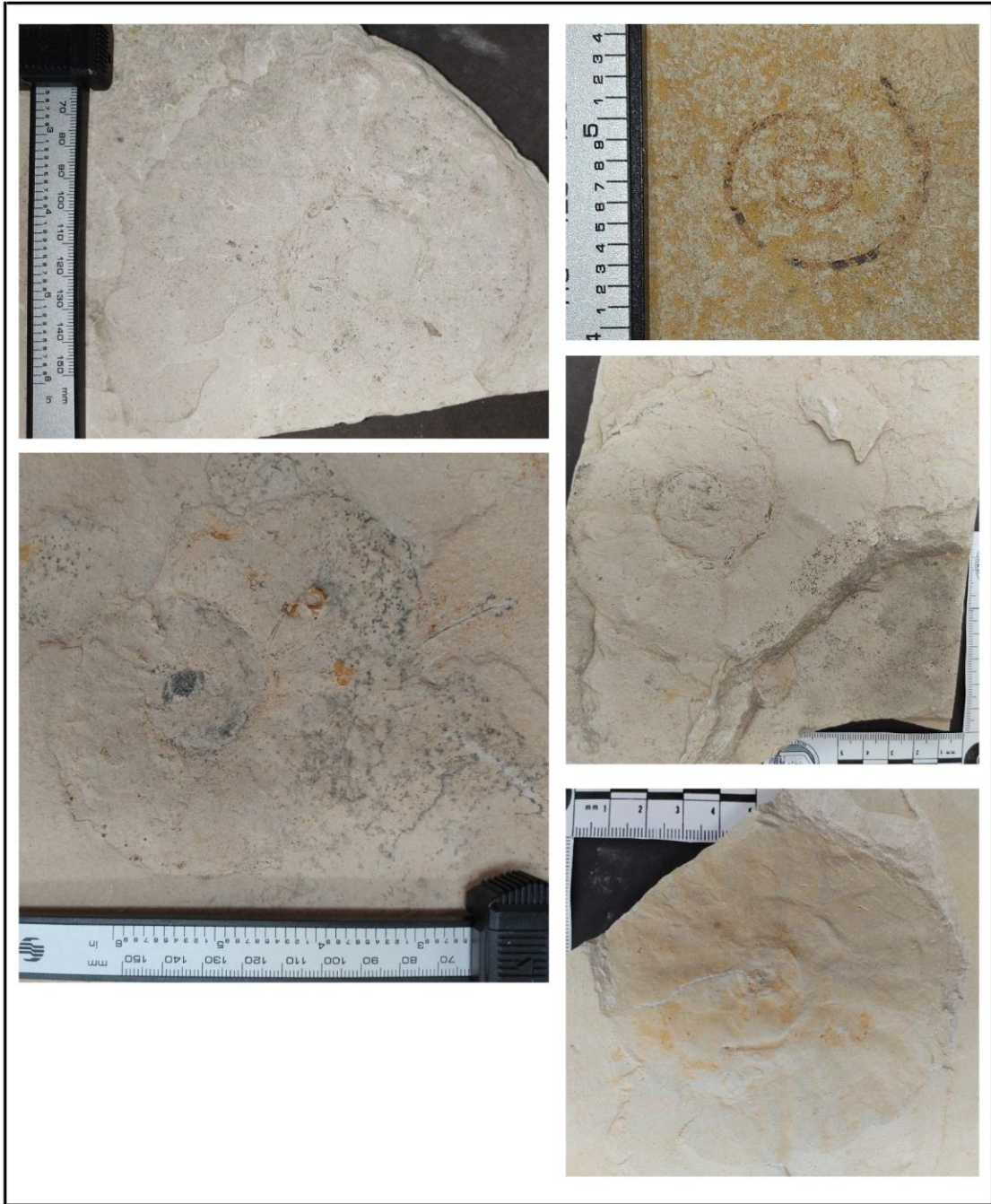


Lámina 12: Ammonoideos.



Lámina 13: Trabajo en Vallecillo.



Lámina 14: Trabajo en Vallecillo.

