



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
POSGRADO EN CIENCIAS EN GEOLOGÍA APLICADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA



**“CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-PALEONTOLÓGICAS
DEL HALLAZGO DE UN VERTEBRADO EN SEDIMENTOS
DEL JURÁSICO TARDÍO EN UNA LOCALIDAD EN EL
NORTE DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO”**

TESIS QUE PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN GEOLOGÍA APLICADA

PRESENTA:

CESIO MENAHÉN FLORES CASTILLO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ R. BARBOZA GUDIÑO.

ASESORES:

DR. JOSÉ R. TORRES HERNÁNDEZ.

DR. MARGARITO TRISTÁN GONZÁLEZ.

DR. JESÚS ALVARADO ORTEGA

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P, ENERO DEL 2012



17 de noviembre de 2011

**AL ING. CESIO MENAHÉN FLORES CASTILLO
P R E S E N T E. –**

En atención a su solicitud de Tema y Temario, presentada por el **Dr. José Rafael Barboza Gudiño**, Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestría en Ciencias en Geología Aplicada**. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 17 de noviembre del presente año, fue aprobado el Tema y Temario propuesto:

TEMARIO:

"CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-PALEONTOLÓGICAS DEL HALLAZGO DE UN VERTEBRADO EN SEDIMENTOS DEL JURÁSICO TARDÍO EN UNA LOCALIDAD EN EL NORTE DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO"

RESUMEN.

INTRODUCCIÓN.

- I. GEOLOGÍA Y ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO-FACIAL DEL ÁREA PALEONTOLÓGICA.
- II. PALEOPROSPECCIÓN, LIMPIEZA Y CURACIÓN DE MATERIAL PALEONTOLÓGICO.
- III. CONSIDERACIONES SOBRE LA TAFONOMÍA DEL MATERIAL FÓSIL.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E

**ING. ARMANDO VIRAMONTES ALDANA
DIRECTOR**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCION



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

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

**bcb

"2011, Bicentenario del Natalicio del Lic. Ponciano Arriaga Leija, Padre de la Constitución de 1857"

**TRABAJO REALIZADO EN:
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UASLP**

**AGRADEZCO A CONACYT POR EL OTORGAMIENTO DE BECA-TESIS
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)**

BECARIO No. 49806

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GEOLOGÍA APLICADA RECIBE APOYO A
TRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

Dedicatoria:

Fundamentalmente el presente trabajo está dedicado a mi mentor espiritual: “Dios”.

Gracias señor por brindarme la oportunidad de pertenecer a la familia de la cual provengo. Por ofrecerme la posibilidad de haber nacido dos veces, de valorar la vida y el espacio que me rodea, por mostrarme a momentos la carencia física y económica y así; determinar el valor justo a lo material, más aún por manifestarte en esos períodos de dificultad, socorrer y aliviar.

Infinitamente estoy agradecido con mis padres:

Prof. Nicolás Flores Feliciano (†). Papá hoy que no estás conmigo, en tu memoria es reconfortante elevar este escrito como un aliento, pues con tu sapiencia al fungir como semillero, hoy día este trabajo producto de tu esfuerzo es el fruto de mi conocimiento.

A la matriarca y pilar del seno familiar, mi madre María Elena Castillo Castillo. Mamá gracias por creer en mí, con tu amor, entrega y esfuerzo, mantuviste viva la ilusión de consumir este documento.

A mi familia:

Hermanas y hermano: Briseida, Citlaly y Nicolás Virgilio; cuñados Armando Austria A. y Cecilia González T.; y mis dos sobrinos hermosos, pingos traviesos Armandito y Carlito, gracias por su cariño e incondicional apoyo moral.

Cesio Menahén Flores Castillo.

También dedico este trabajo a mi amigo David Alejandro Navarro Martín del Campo (†), quien años atrás durante la etapa de campo externó su deseo por desarrollar este estudio, y que por circunstancias del destino se adelantó en el camino. Con su apoyo, esfuerzo y dedicación, se concluyó la primera de dos fases de campo para la extracción del vertebrado.

A crédito personal honro su entrega y disciplina, pues sin su legado la culminación de esta tesis habría sido aún más laboriosa, ya que científicamente este escrito aún proyecta crecimiento.

Agradezco al personal del Instituto de Geología por su valiosa colaboración al contribuir en la enseñanza de un servidor: especialmente al Dr. José Rafael Barboza Gudiño, a los Drs. Rubén A. López Doncel, Margarito Tristán González, José R. Torres Hernández, y entre otros al Ing. Erasmo Mata Mtz. por su apoyo en la elaboración y desarrollo de láminas delgadas. Así mismo es para mí un honor que el Dr. Jesús Alvarado Ortega del Instituto de Geología de la UNAM me orientase paleontológicamente.

Al CUCA, quien por medio de los Drs. Viridiana G. M. y Yuri N., fue posible la donación de equipo e instrumental de limpieza para el laboratorio de paleontología del área Ciencias de la Tierra de la UASLP, con el cual se agiliza la limpieza del vertebrado fósil.

A mis amigos y compañeros de posgrado por compartir anécdotas y experiencias durante la nueva estancia de escolapios en el Instituto de Geología: Ings. Guillermo Alvarado V., Isidro Montes A., Madai Dodanim Galero V., Elena Vázquez y Lorena Hdz., entre otros.

Y esencialmente a mi teacher mafercita, por brindarme honestidad, conocimiento y más aún, regalarme su valiosa amistad.

Colaboradores

Institucionales:

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- Posgrado en Geología Aplicada de la Facultad de Ingeniería, Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Área Ciencias de la Tierra, Laboratorio de Paleontología de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Investigación:

Ing. Cesio Menahén Flores Castillo.

Dirección de Tesis:

- Dr. Rubén A. López Doncel y Dr. José Rafael Barboza Gudiño (Instituto de Geología de la UASLP).

Asesoría:

- Dr. Margarito Tristán Gonzáles (Instituto de Geología de la UASLP-Ciencias de la Tierra de la UASLP), Dr. Jesús Alvarado Ortega (Instituto de Geología de la UNAM) y Dr. José R. Torres Hernández (Instituto de Geología de la UASLP-Ciencias de la Tierra de la UASLP).

Apoyo y trabajo de campo:

- Ing. Guillermo Alvarado Valdez (Instituto de Geología de la UASLP-Ciencias de la Tierra de la UASLP), Ing. David Navarro Martín del Campo (†), M. en C. Juan Manuel Tórres Aguilera, Ing. Iván Medina Sánchez, C. Sofía Alejandra Rodríguez Martínez, Ing. Mayra Berenice Pérez Martínez, Sr. Martín Martínez Orozco, C. José Ezequiel Escamilla de La Rosa, C. Jesús Hernández Canelo, C. Irvin Vidales Castro y C. Oziel Ayala Contreras.

Apoyo en el trabajo de laboratorio:

- Ing. Erasmo Mata (Instituto de Geología de la UASLP), C. Jorge Luis Xolalpa Plancarte, C. Francisco Javier Ortiz López, C. Jesús Canelo Hdz. y C. Aarón Salinas Hernández.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	4
a. Planteamiento del problema	4
b. Localización del sitio	5
c. Objetivos y metas	7
d. Generalidades sobre los Osteíctios	7
e. Hipótesis	12
f. Trabajos previos	12
g. Justificación	16
h. Materiales y métodos	17
I.- GEOLOGÍA Y ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO-FACIAL DEL ÁREA	
PALEONTOLÓGICA	18
I.I.- Generalidades Fisiográficas	18
I.I.I.- Fisiografía.....	18
I.I.II.- Hidrología.....	19
I.II.- Marco geológico del área paleontológica	21
I.II.I.- Estratigrafía Local.....	25
Sistema Triásico.....	25
Formación Zacatecas (Trz).....	25
Sistema Jurásico.....	29
Formación La Joya (Jj).....	29

Formación Zuloaga (Jz).....	30
Formación La Caja (Jc).....	33
Sistema Cretácico.....	36
Formación Taraises (Kit).....	36
Formación Tamaulipas Inferior (Kti).....	38
Formación Otates (“Peña”), (Kap).....	41
Formación Tamaulipas Superior (Kts).....	43
Formación Cuesta del Cura (Kcc).....	44
Sistema Terciario.....	46
Riolita Lajas (Trl/Tpl).....	46
Conglomerado Charcas (Tcch).....	48
Sistema Cuaternario.....	49
Coluvión, Caliche y Aluvión.....	49
I.II.II.- Geología Estructural.....	51
Descripción de estructuras.....	51
Estructuras Laramídicas.....	51
I.III.- Análisis sedimentológico-facial para la Formación La Caja, localidad	
Las Lajas, Arroyo San Nicolás, Municipio de Charcas, San Luis Potosí.	53
I.III.I.- Estudio sedimentológico-petrográfico.....	53
I.III.II.- Metodología para la preparación de laminado petrográfico.....	53
I.III.III- Estudio petrográfico.....	55
I.III.IV.- Análisis Facial y Microfacial Stándar de Wilson.....	70
II.- PALEOPROSPECCIÓN, LIMPIEZA Y CURACIÓN DE MATERIAL	
PALEONTOLÓGICO.....	75

II.I.- Metodología Propuesta.....	75
II.II.- Recopilación Bibliográfica.....	75
II.III.- Trabajo de Campo.....	75
II.III.I.- Introducción.....	75
II.III.II.- Prospección geológica-paleontológica.....	76
II.III.III.- Metodología de levantamiento paleontológico.....	78
II.III.IV.- Extracción, protección y transporte del material paleontológico	84
II.III.IV.I.- Procedimiento de extracción del vertebrado.....	84
II.IV.- Limpieza y curación de material paleontológico.....	89
II.IV.I.- Recepción y preparación del material para su limpieza.....	89
II.IV.II.- Limpieza.....	90
II.IV.II.I- Limpieza por método mecánico.....	91
II.IV.II.II.- Limpieza por método químico.....	92
II.IV.III- Curación.....	92
III.- CONSIDERACIONES SOBRE LA TAFONOMÍA DEL MATERIAL FÓSIL.....	103
III.I.- Observaciones tafonómicas.....	103
III.II.- Clasificación siguiendo los criterios evolutivos del vertebrado....	111
III.III.- Conclusiones.....	118
III.IV.- Discusiones.....	119
III.IV.- Recomendaciones para el resguardo de material clasificado.....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
ANEXOS.....	131

ILUSTRACIONES

FIGURA	Página
1 Paleobiogeografía de Norteamérica y Gondwana.....	4
2 Mapa de localización del área de estudio.....	5
3 Mapa de vías de comunicación del área de estudio.....	6
4 Representación esquemática comparativa de las dimensiones desarrolladas por un pez Osteíctio.....	8
5 Imagen esquemática comparativa que ejemplifica la estructura endocraneal en los Osteíctios (Crosopterigios).....	9
6 Imagen comparativa de un pez actual.....	9
7 Imagen esquemática comparativa que muestra la morfología ósea de un organismo pisciforme.....	10
8 Fragmentación del supercontinente Pangea.....	11
9 Niveles del mar en el Jurásico Temprano.....	11
10 <i>Vallecillichthys multivertebratum</i>	16
11 Identificación de algunos elementos osteológicos craneales y parte de una aleta pectoral.....	17
12 Mapa de provincias y subprovincias fisiográficas de México para el área de estudio en el estado de San Luis Potosí.....	19
13 Mapa de Cuencas y Regiones Hidrológicas de México y San Luis Potosí.....	20
14 Mapa de la República Mexicana con las estructuras paleogeográficas donde se localiza el área de estudio.....	21
15 Mapa de Terrenos tectonoestratigráficos de México.....	22
16 Columna geológica regional para el área de estudio.....	24

17	Afloramiento de la Formación Zuloaga, expuesto en el cauce del arroyo San Nicolás.....	32
18	Afloramiento de la Formación La Caja, expuesto en el área de estudio sobre el cauce del arroyo San Nicolás.....	34
19	Superficie de erosión con estructuras de rizadura en la Formación La Caja.....	34
20	Afloramiento de la Formación Cuesta del Cura, expuesto en el área de estudio sobre el cauce del arroyo San Nicolás.....	45
21	Afloramiento de Conglomerado Charcas, expuesto en el área de estudio sobre el cauce del arroyo San Nicolás.....	49
22	Afloramiento expuesto en una ladera del arroyo San Nicolás, con pequeños lentes de caliche, Aluvión y paleocanales.....	50
23	Proceso de laminado para las muestras colectadas en Formación La Caja.....	54
24	Wakestone de calciesferas/Biomicrita.....	56
25	Wakestone Bioclástico/Biomicrita.....	58
26	Mudstone Bioclástico/Biomicrita.....	60
27	Mudstone Bioclástico/Biomicrita.....	61
28	Mudstone Bioclástico/Biomicrita.....	63
29	Calcarenita dolomitizada/Dolorudita.....	64
30	Mudstone de foraminíferos/Biomicrita.....	66
31	Calcarenita ligeramente dolomitizada/Dolorudita.....	67
32	Mudstone Bioclástico/Biomicrita.....	69
33	Tabla de clasificación para las rocas carbonatadas propuesta Folk (1959, 1962)	70
34	Tabla de clasificación para rocas carbonatadas propuesta por Dunham, (1962) y modificado de Folk (1962).....	71

35	Plataforma carbonatada con bordes. Diagrama estándar de Zonas de Facies (FZ) en el modelo modificado de Wilson.....	71
36	Ambientes de depositación generalizados, cinturones de facies y tipos de microfacies estándar.....	72
37	Rasgos de bioturbación por organismos reptoeres.....	73
38	Columna geológica local para el área de estudio en la Formación La Caja.....	74
39	Sección de campo en la que se prospecta el área sujeta estudio.....	76
40	Cauce del arroyo San Nicolás.....	77
41	Delimitado paleontológico-sedimentológico del área de interés.....	78
42	Calca <i>in-situ</i> para la obtención de algunos detalles morfológicos.....	78
43	Evidenciado de un levantamiento paleontológico por captura de fotográfica.....	79
44	Elaboración de un transecto cuadrangular.....	79
45	Fabricación de un bosquejo visto en planta.....	80
46	Descripción litológica de campo.....	80
47	Asignación y marcación de claves para cada capa de roca.....	81
48	Determinación de los procesos de fosilización.....	81
49	Identificación del fósil respecto a la roca que le envuelve y grado de intemperismo	82
50	Reconocimiento del espécimen en estudio respecto a la roca que le embebe...	83
51	Libreta de tránsito con apuntes recabados, esquemas y calcas <i>in-situ</i> para los elementos osteológicos expuestos sobre la superficie del estrato.....	83
52	Yacimiento fósil dispuesto en estratos inclinados con un ángulo de 20° SE.....	84
53	Corte y dimensionado de roca.....	85
54	Tratamiento de dureza para un fragmento de hueso fracturado.....	85
55	Remoción sistemática gradual sobre las superficies de contacto para cada	

horizonte suprayacente al estrato base (nivel del fósil).....	86
56 Selección y muestreo de roca.....	86
57 Base metálica con tablas de madera.....	87
58 Enumeración de piezas de roca que presentan fracturas mayores sobre cada segmento agrietado.....	87
59 Secuencia y procedimiento de rescate fósil en dos piezas de roca.....	88
60 Condiciones de arribo del material a laboratorio.....	89
61 Equipo de percusión neumática.....	90
62 Limpieza mecánica por percusión.....	90
63 Limpieza química por dilución.....	91
64 Remoción del sedimento en forma de capas o niveles sobre la superficie de la roca.....	92
65 Unión de piezas fracturadas.....	92
66 Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Mayo del 2010 contra el mes de Junio del 2010.....	94
67 Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Julio del 2010 contra el mes de Agosto del 2010.....	95
68 Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Septiembre del 2010 contra el mes de Octubre del 2010.....	96
69 Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Noviembre del 2010 contra el mes de Diciembre del 2010.....	97
70 Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Enero del 2011 contra el mes de Febrero del 2011.....	99
71 Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Marzo del 2011 contra el	

mes de Abril del 2011.....	101
72 Remoción de sedimento. Último avance correspondiente al mes de Mayo del 2011.....	102
73 Disposición generalizada de los componentes óseos.....	104
74 Huesos dentarios delgados y alargados pertenecientes a la mandíbula inferior que carecen de molariformes.....	105
75 Elementos fósiles aislados, de simetría radial bifurcada.....	106
76 Elementos asociados al esqueleto.....	106
77 Rasgos de bioturbación bajo el estrato donde fosilizó el organismo, proceso que evidencia el reciclaje osteológico natural durante el desarrollo de transformación físico-biológica.....	107
78 Marcas de intemperismo químico-biológico ocasionado por algunas raíces entre las cavidades de la roca.....	108
79 Hueso fósil <i>in-situ</i> parcialmente afectado por intemperismo mecánico.....	109
80 Morfología ósea con estriamiento de tipo radial que surge de la parte media en huesos que cubrían el techo de la zona orbitaria y mandibular.....	110
81 Distribución de los estados de caracteres derivados entre los Pachycormidos...	113
82 Agallas diminutas asociadas a rastrillos, localizadas perpendicularmente entre los lineamientos de los arcos mandibulares.....	114
83 Proceso coronoide para el organismo en estudio.....	115
84 Hueso hiomandibular del ejemplar estudiado en el que se aprecia como el borde del proceso es más angosto que su base.....	116
85 Estructura alargada y ramificada para una aleta pectoral fracturada con ausencia de segmentación.....	117

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una investigación de carácter sedimentológico-paleontológico en rocas sedimentarias calcáreo-arenosas de la Formación La Caja (Jurásico Tardío), que contienen los restos de un vertebrado fosilizado, localizado en el cañón denominado San Nicolás, perteneciente a la localidad de Las Lajas, Municipio de Charcas, San Luis Potosí.

Los estudios realizados para su identificación manifiestan que se trata de un organismo marino. En el presente trabajo se argumenta sobre su naturaleza y algunos elementos para su clasificación y el ambiente en el cual existió.

De los estudios realizados, se infiere que los restos de este fósil corresponden a un pez gigante, con afinidad a un grupo de peces marinos pertenecientes a la subclase Actinopterygia. En el proceso de limpieza se consideraron algunas características aparentemente análogas a las de un reptil alado así como a las de un reptil marino, no obstante, en la fase final de este proceso, se identificó que los componentes osteológicos constituyen únicamente una porción craneana del pez.

Durante el Jurásico Tardío este tipo de peces alcanzaron dimensiones colosales; sin embargo, sus restos son muy escasos y difíciles de localizar, en parte debido a las condiciones de preservación, o simplemente, debido a que el material del cual se constituía difícilmente lograba su preservación (osteología cartilaginosa parcialmente primitiva), tal es el caso de los escualos (tiburones) en los que no fosiliza el esqueleto salvo las mandíbulas. Esta desventaja estableció un notable inconveniente en contraste con los peces del periodo Cretácico, en los cuales a diferencia de sus predecesores jurásicos, su grado de osificación era más elevado por lo que su preservación fue mayor debido a la naturaleza evolutiva de su esqueleto, característica morfológica distintiva que en la actualidad conservan la mayoría de los peces vivientes. De acuerdo con el registro paleontológico en el periodo Cretácico, la Subclase Actinopterygia alcanza una distribución muy extensa con una disminución considerable en el tamaño de su estructura esquelética.

Con base en el criterio anterior, al hacer referencia que se trata de un pez marino y la naturaleza de los sedimentos a los que está estrechamente relacionado, podemos decir que el organismo era neotónico y se desplazaba en el primitivo mar de Thethys.

Localidades Jurásicas donde se han logrado estudiar fósiles de esta naturaleza son escasas, por lo tanto éste ejemplar representaría el primer esqueleto reportado para estas latitudes, ya que anteriormente se habían reportado en Inglaterra, Alemania, Francia, Chile y ahora en México, Charcas, San Luis Potosí. De modo que, este vertebrado adquiere gran importancia siendo el primer organismo que se identificaría en el país para el Jurásico Tardío, en un ambiente de cuenca y estante profundo en los límites con una zona de la plataforma de carbonatos.

ABSTRACT

In this paper we investigate the remains of a fossil vertebrate which was found in the canyon known as San Nicolás, located in Las Lajas, Municipality of Charcas, San Luis Potosí. Since the fossil was found on sandy calcareous sedimentary rocks of La Caja Formation (Late Jurassic) this study has a sedimentological-paleontological approach.

These studies suggest that the fossil being investigated is a marine organism. In this work we elaborate about its nature and about a number of elements needed for its classification, as well as the environment in which it existed.

Moreover, these studies also suggest that the remains of this fossil correspond to a giant fish, with similarities shared with a group of marine fish belonging to the Actinopterygian subclass. In the cleaning process similar characteristics to those of a winged reptile as well as a marine reptile were found; however, in the final stage of this process, it was determined that the identified osteological components constitute only a cranial portion of a fish.

During the Late Jurassic these types of fish reached colossal dimensions; ironically, their remains are very scarce and difficult to find, due in part, to the conditions of preservation, or simply because of their primitive cartilaginous osteology. Such is the

case of sharks, in which their skeletons do not fossilize except for the jaws. This was a huge disadvantage compared to the fish from the Cretaceous period, in which unlike their predecessors from the Jurassic period, the degree of ossification was higher and as a consequence their preservation was also higher due to the evolving nature of their skeletons. This is a morphological feature distinctive and retained in most of today's living fish. According to the fossil record in the Cretaceous period, the Actinopterygian subclass classification reaches a very wide distribution with a significant decrease in the size of their skeletal structure.

Based on the above criterion, considering that it is a marine fish and the nature of the sediments to which is closely related, we conclude that the organism was nektonic and swam in the primitive sea of Thethys.

Jurassic locations where there have been studies about fossils of this kind are scarce; therefore, the sample found in Charcas, S.L.P., Mexico would be the first skeleton reported in these latitudes, in addition to the ones reported in England, Germany, France, and Chile. As a consequence, this vertebrate is of great importance since it would be the first fossil being identified in the country from the Late Jurassic in a deep basin and shelf on the border of an area of the platform carbonates.

INTRODUCCIÓN

a. Planteamiento del problema.

Al noreste de Charcas, San Luis Potosí fueron descubiertos restos fósiles de un vertebrado en capas calcareoarcillosas de la Formación La Caja del Jurásico Tardío (Kimmeridgiano-Titoniano). Una vez que han sido rescatados estos restos, se hizo la limpieza de los mismos en una de las dos lajas con forma poligonal en las que se encuentran contenidos, con dimensiones de 80 cm de ancho por 120 cm de largo y 20 cm de espesor, y 70 cm de ancho por 130 cm de largo y 8 cm de espesor respectivamente.

Los rasgos preservados que en la fase inicial parecían coincidir con un reptil, señalaron finalmente hacia un pez gigante perteneciente a la subclase Actinopterygia, por lo que además de su identificación más precisa, es de suma importancia su descripción y ambiente sedimentario en el cual se depositó, así como su marco paleogeográfico dado la importancia que reviste el hallazgo en México de un ejemplar de este tipo (Figura 1).

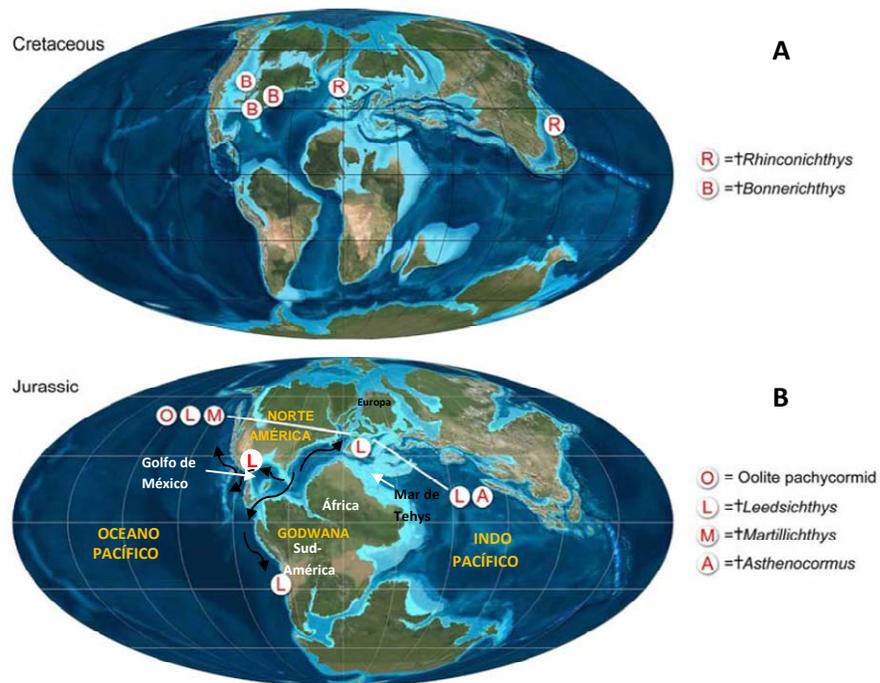


Figura 1. Paleobiogeografía de Norteamérica y Gondwana; A). Durante el Cretácico; B). Durante el Jurásico Tardío. En la imagen se aprecia el posible desplazamiento alcanzado por el vertebrado en estudio (dirección de las flechas negras); el cual se representa con el género de pertenencia cercano a *Leedsichthys* “L”, *Martillichthys* “M” y/o *Asthenocormus* “A” para el mar de Tethys (tomado de Friedman *et al.*, 2010, y modificado por Flores-Castillo, 2011).

b. Localización del sitio.

El área de estudio se ubica hacia el noroeste del Municipio de Charcas, San Luis Potosí, específicamente en la zona que comprende a la localidad de Las Lajas perteneciente a la jurisdicción municipal de Santa Gertrudis, San Luis Potosí (Figura 2) y que, geográficamente se ubica dentro de la hoja que lleva el mismo nombre, F14 A-33, escala 1: 50, 000 editada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) antes Consejo de Recursos Minerales (COREMI).

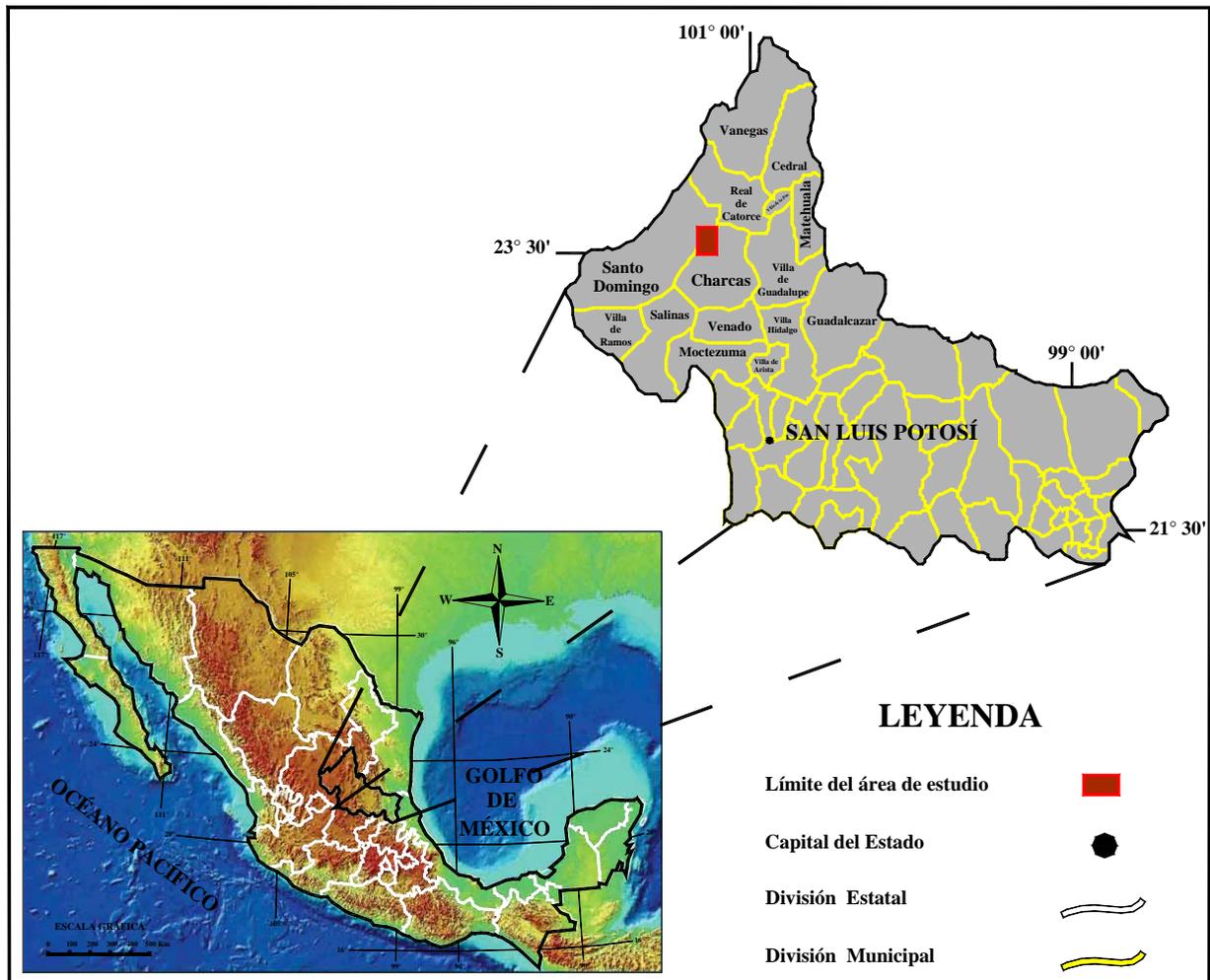


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio. Modificado de [inegi.org.mx](http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html), en <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>, por Flores Castillo, 2011.

Vías de Acceso.

En dirección norponiente a partir de la capital del Estado de San Luis Potosí, la principal vía de comunicación de la cual se dispone para ingresar al área de estudio, está la Carretera Federal 49; de la cual, dando vuelta hacia el norte en el kilómetro 28 por la carretera Estatal 63, que en adelante intersecta a las cabeceras municipales de Ahualulco, Moctezuma y Venado, se accesa al Municipio de Charcas, SLP; posteriormente con dirección a Santo Domingo, se llega con camino asfáltico hasta la comunidad de Coyotillos y en adelante a Presa de Santa Gertrudis. De éstas últimas, a partir de Coyotillos por una serie de brechas y caminos alternos, que sólo son transitables en época de estiaje, se ingresa tanto a la entidad de Las Lajas como a la zona de interés en el denominado cañón del Arroyo San Nicolás (Figura 3).

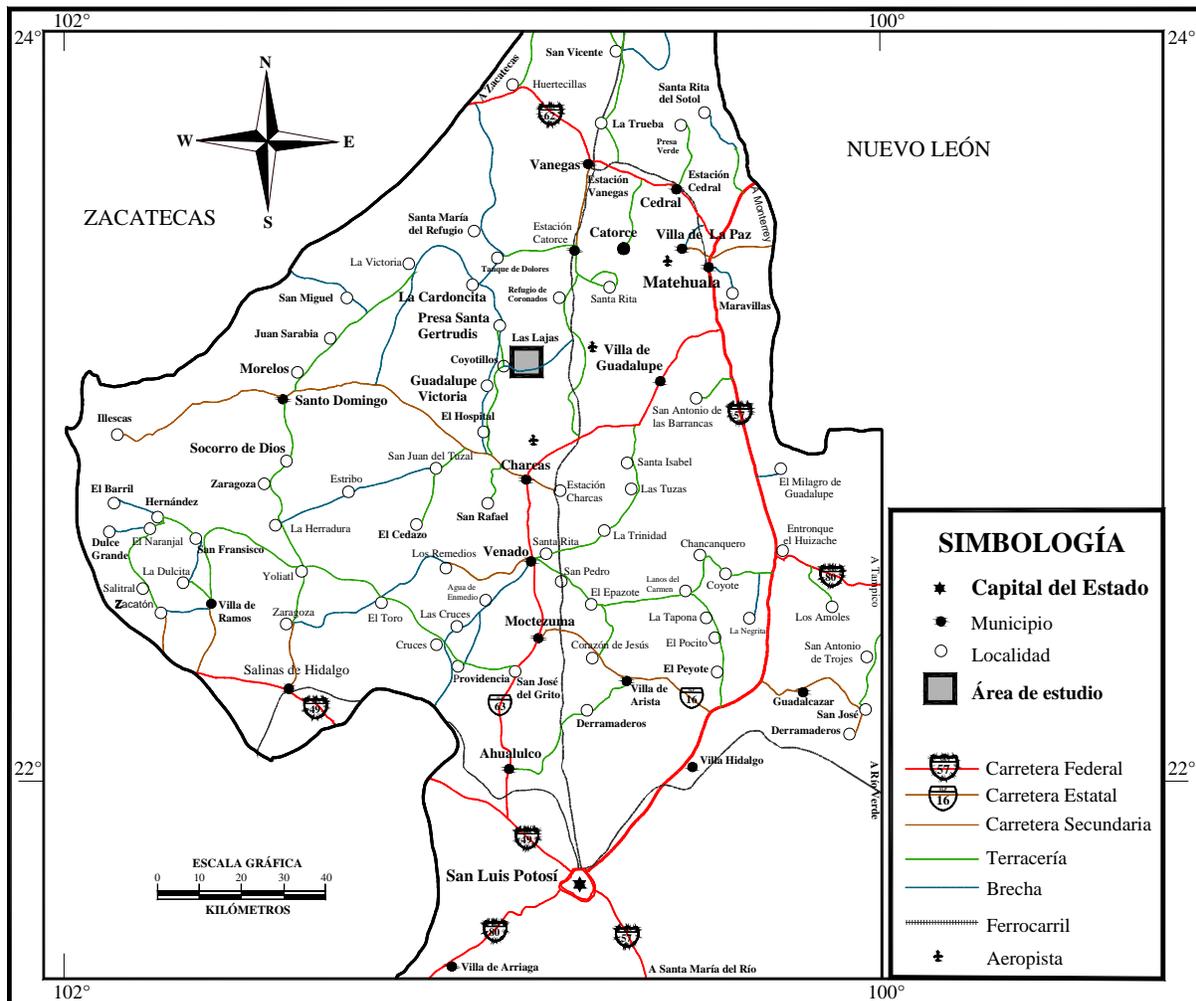


Figura 3. Mapa de vías de comunicación del área de estudio. Modificado de Guía rojí, [carreteras de México] por Flores-Castillo, 2011.

c. Objetivos y metas.

- Identificar los niveles taxonómicos a los que pertenece este pez Jurásico, así como definir si se trata de una especie marina pisciforme ya conocida; o bien, si se trata de una nueva especie en base a los resultados que conlleve la investigación de campo, gabinete y laboratorio.
- Determinar en la medida de lo posible su tafonomía (proceso de fosilización) y condiciones de depósito en base a la naturaleza de la secuencia.
- Explicar su origen en relación a la fauna asociada y hacer una reconstrucción paleoambiental y biogeográfica para el área de estudio.
- Efectuar un análisis petrográfico con láminas delgadas para la identificación de facies y microfacies que apoye la interpretación de la secuencia.
- Limpieza del fósil a fin de permitir la descripción de los detalles más finos que permita su identificación.
- Identificación de los restos al nivel de subclase o clase, debido a las condiciones de preservación del mismo y al reducido número de elementos osteológicos con que se cuenta, únicamente si las condiciones lo permiten.
- Modelado del ambiente del depósito y facies o microfacies sedimentológicas.
- Modelado paleogeográfico global, correlación y distribución de fósiles de Actinopterigios en el mundo.

d. Generalidades sobre los Osteíctios.

Taxonómicamente aún no se ha identificado con certeza la especie del fósil; sin embargo, se sabe que es un pez de Género a fin con *Leedsichthys*, *Martillichthys* y/o *Asthenocormus*. Por su proximidad al primero, su nombre significa "pez de Leeds " en honor a Alfred Nicholson Leeds, un buscador de fósiles que lo descubre en 1896 cerca de Peterborough, Inglaterra. Éste pez perteneció a la clase de los Osteíctios (peces óseos). Parientes de los Agnatos llegaron a alcanzar diferentes tamaños, desde unos cuantos metros hasta envergaduras colosales de aproximadamente entre 25 a 30 m de

largo, como los desarrollados en el Jurásico Tardío (Figura 4), aunque en estudios recientes reportan dimensiones que oscilan entre 10 a 15 metros de largo.



Figura 4. Representación esquemática comparativa de las dimensiones desarrolladas por un pez Osteíctio (*Leedsichthys problematicus*) del Jurásico Tardío en contraste con un buzo. Este gigantesco pez perteneció un grupo de peces óseos ya extinto; el cual, desarrolló fuertes aletas radiales con movimientos lentos. (Tomado de Woodward, 1889 en <http://www.search4dinosaurs.com/shiraishi/Leedsichthys.html>, en línea, fecha de consulta: 20 de Mayo del 2011).

De acuerdo con Romer (1976), en Bermudo-Meléndez (1979, pag. 118), estos organismos pisciformes tenían un dermatocráneo constituido por huesos dérmicos o de membrana; es decir, huesos que recubrían a un endocráneo formado por dos partes: una anterior, etmo-esfenoidal y otra posterior ótico-occipital (Figura 5). Estudios anteriores revelan que su estructura esquelética se fue sustituyendo de manera progresiva, pasando parcialmente de cartilaginosa a ósea. Otras características importantes en dicho vertebrado son que presentaba un cuerpo pisciforme con escamas ganoideas (Figura 6), y que se desplazaban en el agua muy lentamente, gracias al desarrollo de una aleta dorsal y dos pectorales con estructura radial, muy similar a las aletas desarrolladas por los peces actuales (Figura 7).

Según el registro paleontológico los Actinopterigios aparecieron desde el Devónico, posiblemente su origen se suscitó en un medio acuático dulceacuícola continental, que fue donde predominaron durante el Carbonífero y el Pérmico; y del cual, se cree que posteriormente migraron hacia un medio marino por la

desembocadura de los ríos en el Triásico Tardío. En adelante, estos organismos Osteíctios se desarrollaron en el Jurásico y se extendieron exitosamente en el Cretácico donde alcanzaron una amplia distribución paleogeográfica hace aproximadamente 70 Ma.

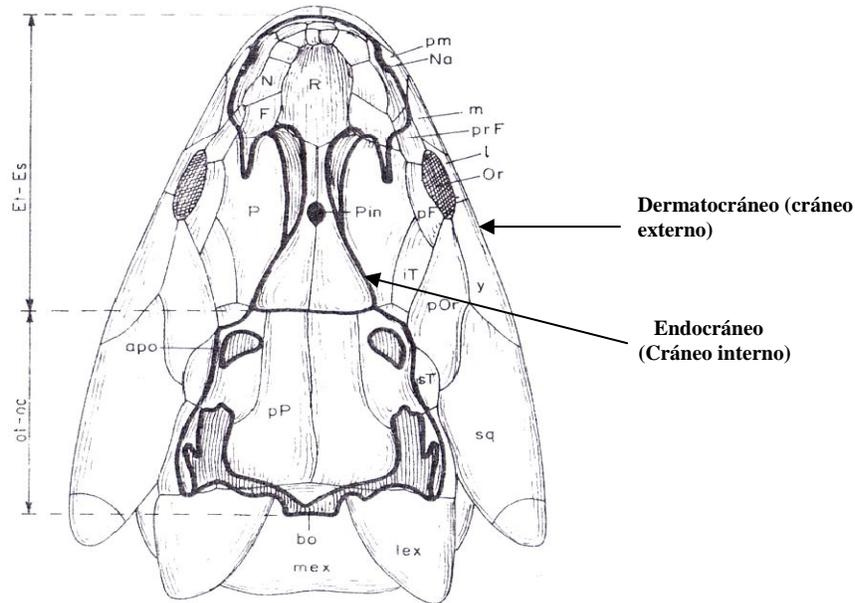


Figura 5. Imagen esquemática comparativa que ejemplifica la estructura endocraneal en los Osteíctios (Crosopterigios). Neurocráneo en relación con los huesos dérmicos del dermatocráneo que le recubren. Et-Es = región etmo-esfenoidal. Ot-Oc = región ótico-occipital del neurocráneo (Tomado de Romer, 1976 en Bermudo-Meléndez, 1979 y modificado por Flores-Castillo, 2011).

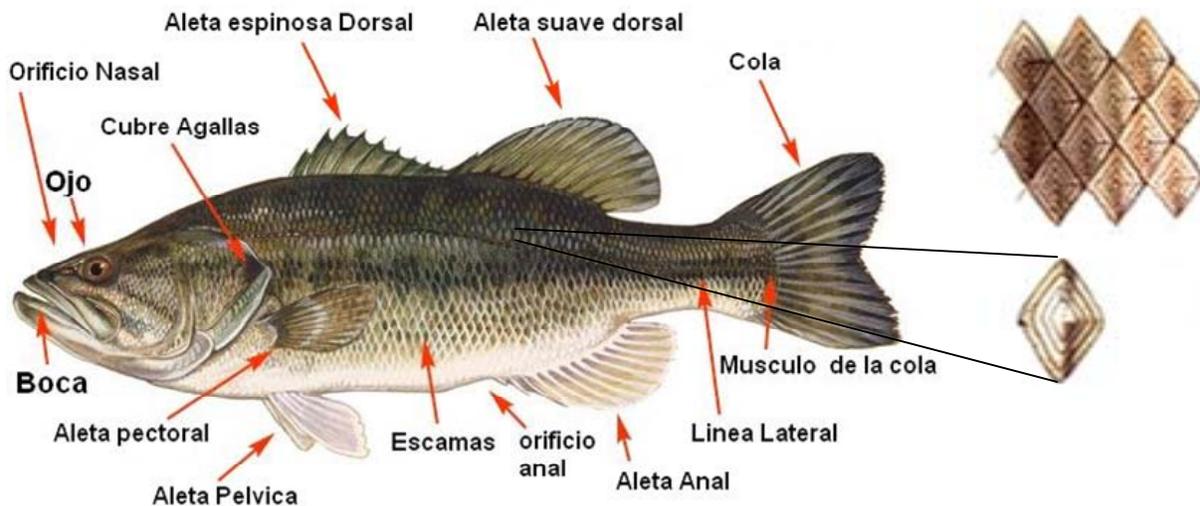


Figura 6. Imagen comparativa de un pez actual, en ella se aprecia la estructura de las escamas ganoideas; las cuales fueron una característica importante en la anatomía externa en los Osteíctios del Jurásico y Cretácico (tomado de <http://fishrules.tripod.com/anatomia/extanat.jpg>, en línea, fecha de consulta: 20 de Mayo del 2011, y modificado por Flores-Castillo, 2011).

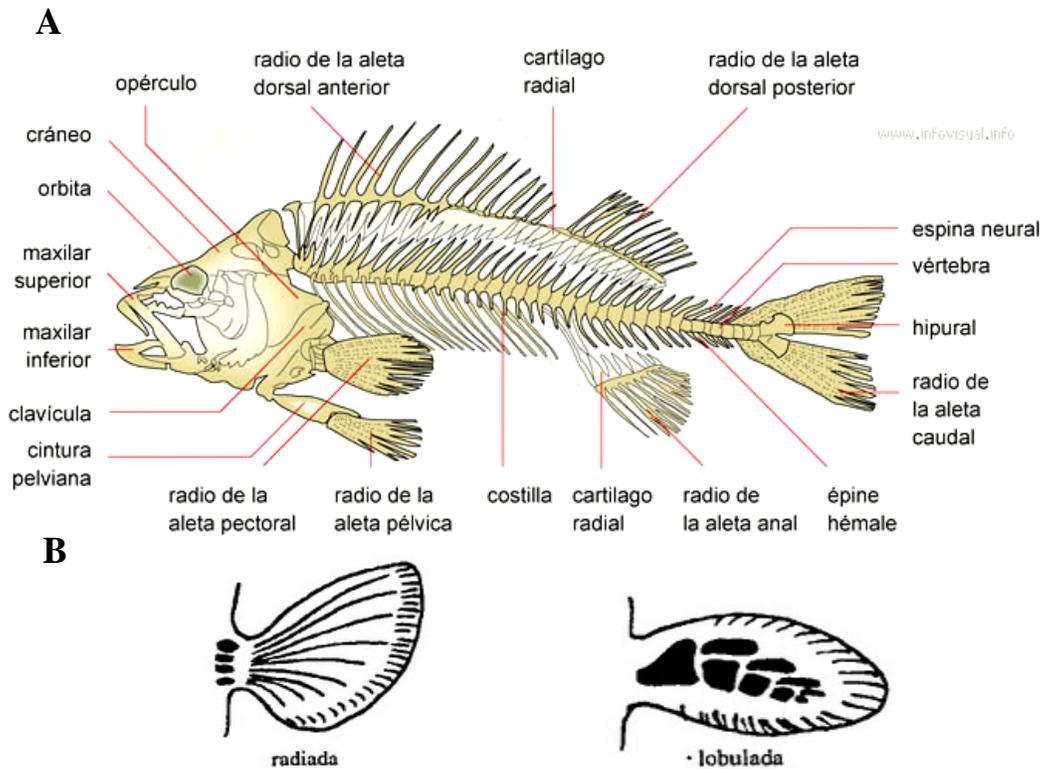


Figura 7. Imagen esquemática comparativa que muestra la morfología ósea de un organismo pisciforme. En la figura A se aprecia el esqueleto de un pez actual, en ella se distingue la estructura radial de sus aletas; en la figura B, se hace una comparación entre la estructura radial de un grupo de osteíctios de la Clase Actinopterygia (izq.) contra la estructura lobulada de los de la Clase Sarcopterygia (derecha), tomado de http://www.infovisual.info/02/034_es.html y http://pezqueninas.blogspot.com/2007_01_01_archive.html, en línea, fecha de consulta 20 de Mayo del 2011.

Después de la separación del supercontinente Pangea hace aproximadamente 200 Ma. en el “Sinemuriano Temprano” (Figura 8), el Océano Panthalassa comenzó a dividirse en los océanos Antártico y Atlántico Norte, en este periodo el nivel de sus aguas subieron y bordearon las líneas costeras que para comienzos del Cretácico Tardío, dejaron a su paso miles de tierras sumergidas, salvo lo que hacia el extremo norte en el Cretácico Tardío conformaría Norteamérica, Eurasia y los Urales (Figura 9). Investigaciones recientes indican que estos organismos marinos de aguas neotónicas se desarrollaron en mares epicontinentales someros, en los que llegaron a evolucionar originando una gran variedad de formas sucesivas después de haber alcanzado notables dimensiones durante todo el periodo Jurásico. Ya para el límite KT, registraron una disminución trascendental cuando se extinguieron la mayoría de otras especies, por lo que éstos también se vieron afectados aunque en menor grado que los invertebrados y vertebrados de su época, como sucedió principalmente con los grandes reptiles y otro

gran grupo de organismos como plantas y microfósiles, a pesar de este descenso biótico global, en la actualidad parte de sus predecesores aún coexisten con nosotros.

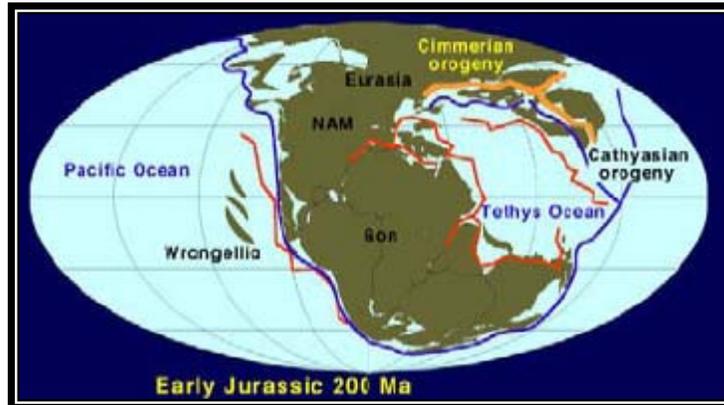


Figura 8. Fragmentación del supercontinente Pangea. Mediante este rompimiento se separa Europa de África, durante el Jurásico se separa América del Norte de América del Sur; aunque aún no lo hace América del Sur de África, dando lugar a que se forme el Atlántico Sur hasta llegar al Cretácico.

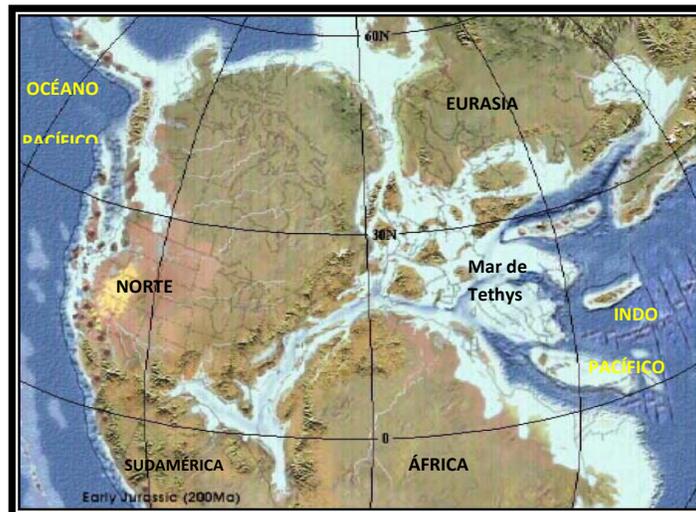


Figura 9. Niveles del mar en el Jurásico Temprano. En este período se produjo una transgresión (incremento) en los niveles oceánicos y un considerable crecimiento en el mar de Tethys. Las franjas de color azul claro indican el incremento de las aguas marinas sobre las zonas continentales.

En la zona donde fue hallado el pez se hizo un estudio sedimentológico facial de las capas suprayacentes e infrayacentes para poder demostrar el ambiente en el que vivió el organismo, basado en las zonas de facies (ZF) y subdivisiones de microfacies estándar (SMF) según el criterio de Wilson (1975) y Flügel (1982), dentro de la Formación la Caja, considerando para ello la relación de los componentes durante la sedimentación y la fábrica de la roca que refleja un ambiente específico de depositación.

e. Hipótesis.

Por la posición que adoptó el organismo en la roca donde fosilizó (Formación La Caja) se establece que el espécimen murió en aguas abiertas, posteriormente, al caer sobre el fondo marino, fue sepultado por material areno-calcáreo, e inmediatamente comenzó el proceso que al final lo preservó en el registro geológico. Este evento quedó evidenciado por la presencia de invertebrados fósiles típicos de un ambiente de mar semiprofundo que fosilizaron en una zona de cuenca a plataforma semiprofunda, tal es el caso de algunos cefalópodos y microfauna de foraminíferos planctónicos y bentónicos típicos de ambientes faciales de moderada a baja energía, así como escasos bioclastos de invertebrados fósiles.

Progresivamente y posterior al sepultamiento, se infiere que el peso suprayacente ejercido sobre el organismo y la roca en la que fosilizó, provocó que éste se dislocara generando una compresión y una desarticulación en la simetría ósea del ejemplar, por lo que en apariencia dividió al esqueleto en dos partes iguales, dando el aspecto de contar con dos vertebrados; uno encima del otro, aunque en realidad se trata de un mismo espécimen. Sin embargo, la posibilidad de que un esfuerzo tectónico lo haya desarticulado no se descarta, ya que existen ligeras evidencias de deformación como pequeños planos de estriamiento, oblicuos y perpendiculares a la estratificación, los cuales quedaron registrados en la superficie de contacto de la roca que lo contiene (tope del estrato).

f. Trabajos previos.

A partir de los años 80's, los trabajos efectuados en el área de estudio se han orientado con un enfoque geológico. Sobre estas investigaciones, se menciona algunos escritos que eventualmente han sido sobresalientes:

- Guel-Díaz de León (1982), en un reporte interno para PEMEX, (inérito), denominado *Compendio de Estudios Realizados en el Pozo La Tapon 1*, Presa de Santa Gertrudis, S.L.P., describe las unidades litológicas cortadas por el pozo Tapon 1 realizado por PEMEX.

- Martínez–Cardona y Malpica–Cruz (1983), hicieron un estudio estratigráfico y sedimentológico de La Formación Zacatecas en la Cuenca Mesozoica del Centro de México haciendo esporádicos recorridos y muestreos en La Sierra de San Carlos–La Tapona.
- Aguayo–Camargo, *et al.* (1985), en su trabajo estratigráfico–sedimentológico del Jurásico Tardío de la Cuenca Mesozoica del Centro de México, incluyen a los sedimentos de la Sierra La Tapona en el Calloviano–Oxfordiano (Formación La Joya). Esta formación fue depositada dentro de un ambiente de planicie fluvial–litoral; la Formación Zuloaga en un ambiente de plataforma interna somera y La Formación La Caja en un ambiente de plataforma interna-externa.
- Tristán–González *et al.* (1995), realizaron la cartografía de la hoja Presa de Santa Gertrudis, S.L.P. escala 1:50 000, donde describen toda la secuencia marina típica de ésta cuenca, que abarca desde el Triásico hasta el Cretácico Tardío. El Terciario se encuentra representado por derrames lávicos de composición riolítica. Los mismos autores reportan que las sierras presentes fueron dislocadas por una serie de fallas normales y de movimiento lateral. Las estructuras volcánicas ostentantes, son domos exógenos emplazados a través de fisuras en el área de Guadalupe Victoria, con algunos aparatos volcánicos pequeños hacia el sureste del poblado Presa de Santa Gertrudis, formando una serie de domos y conos de escoria con diámetros menores a un kilómetro.
- Así mismo en otros trabajos, Rivera–Mendoza, *et al.* (1999), en el informe de la *Carta Geológico–Minera y Geoquímica de la Hoja Presa de Santa Gertrudis F 14 A-33, escala 1: 50 000*, elaborada en convenio por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) con el Consejo de Recursos Minerales (COREMI) hoy día Servicio Geológico Mexicano (SGM), reconocen mediante la cartografía 16 unidades litoestratigráficas; de las que, según ellos, manifiestan metamorfismo regional de bajo grado, una de origen continental que conforma la base de la secuencia de la Cuenca Mesozoica del Centro de México; siete más,

constituyen la cuenca y otras tres de origen continental rellenan cuencas geotectónicas.

El rango cronológico de todas las unidades abarca desde el Triásico Medio–Tardío hasta el Reciente. Tectónicamente, las secuencias sedimentarias de cuenca y basamento se encuentran levantadas y plegadas, de las que se reconocen imbricaciones tectónicas, desplazamientos tipo *décollement* y fallas inversas como resultado de una fase compresiva que derivó en estructuras con vergencia hacia el NE. El arreglo estructural muestra una serie de pliegues sinclinales con orientación N 10-30° W, conservando cierto paralelismo. Las fallas normales, presentan la misma orientación, mientras que un conjunto de fallas derechas que ocurren en la máxima flexión de los bordes orientales de algunas estructuras, guardan una dirección N 50° E.

- Barboza–Gudiño, *et al.* (1999), detallan algunos afloramientos de la Formación Zacatecas en las áreas de Peñón Blanco, Charcas, Real de Catorce y Presa de Santa Gertrudis. Interpretando el ambiente tectónico como un abanico submarino en la margen paleopacífica de la Pangea o del suroeste de Norteamérica.
- Zavala–Monsivaís (2000), en su trabajo de Petrografía de Rocas Pre–Oxfordianas en la Parte Occidental del Estado de San Luis Potosí, presenta un caminamiento realizado en el Arroyo El Tepozán en donde describe los cambios litológicos y rasgos estructurales de la Formación Nazas y la Formación Zuloaga principalmente, ya que localmente en dichos afloramientos la Formación La Joya está prácticamente ausente por no depositarse o erosionarse.

Escalante-Martínez (2006), presenta Análisis Estructural de los Afloramientos de la Secuencia Siliciclástica Marina del Triásico Tardío en el Área de Presa de Santa Gertrudis, S. L. P, donde plantea como objetivo principal detallar la estructura y evolución tectónica del área Coyotillos – La Tapona – Presa de Santa Gertrudis, al noreste de Charcas, San Luis Potosí, donde además detalla la deformación interna y estructura externa de una serie de afloramientos expuestos de rocas triásicas que han experimentando levantamientos subsecuentes desde el Mesozoico hasta el Cenozoico.

Actualmente para el área de estudio no existen antecedentes de índole paleontológica y mucho menos en la determinación de vertebrados fósiles. Sin embargo, Flores-Castillo (2007), presenta un Manual para la Preparación y Curación de Vertebrados Fósiles, donde establece y ejemplifica un procedimiento con técnicas paleontológicas para la extracción y recuperación de un vertebrado fósil; además, en él ilustra cómo se efectúan los procesos de limpieza, confiriendo para ello un valor científico que está fundamentado por varias etapas tales como: campo, laboratorio y montaje de un ejemplar, mediante un análisis previo de depósito.

Así mismo, de la información bibliográfica consultada que destaca en este estudio se encuentra: Paleontología, Tomo 2. Vertebrados (Peces, Anfibios, Reptiles y Aves), Bermudo-Meléndez, (1979); Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí, I.N.E.G.I., (2002); Microfacies of Carbonate Rocks, Análisis, Interpretation and Application, Flügel, E., 2004; An overview of the *pachycormiform Leedsichthys*, Liston, J., (2004); A review of the characters of the edentulous *pachycormiforms Leedsichthys, Asthenocormus* and *Martillichthys* nov. gen., Liston, J. (2008); Diccionario de anatomía comparada de vertebrados, Álvarez del Villar, *et al.* (2007).

Existen evidencias directas de la presencia del Orden Pachycormiformes en México, estas evidencias están constituidas por restos osteológicos.

De acuerdo con Blanco-Piñón y Alvarado-Ortega (2007), otros restos de Osteíctios de edad cretácica fueron descubiertos en México. El registro Ichthyodectiform mexicana conocida en el siglo pasado, es tan poco popular que estos peces fueron excluidos de los primeros registros filogenéticos (Alvarado-Ortega, 1998, 2004, 2005). Este registro incluye ejemplares pertenecientes a *Vallecillichthys multivertebratum* (Figura 10), colectado en los sedimentos del Cretácico Tardío (Turoniano Temprano) en la localidad de Vallecillo perteneciente al Miembro-Vallecillo, de la Formación Agua Nueva, expuesto en el estado de Nuevo León, México, (Blanco y Cavin, 2003); *Prymnetes longiventer* (Cope, 1871), de una localidad desconocida en Chiapas; *Unamichthys espinosai* (Alvarado-Ortega, 2004), y al menos otras tres especies de Tlayúa, en Tepexi de Rodríguez, Puebla (Applegate, 1996), en este sitio se recolectaron abundantes elementos esqueléticos aislados. *Saurodon* sp. de Múzquiz, Coahuila

(Alvarado-Ortega *et al.*, 2006a; Blanco-Piñón y Alvarado-Ortega, 2005a), y todavía no se describe muestras de la cantera Muhi, Hidalgo, de Mezcala, Formación de Guerrero (Alvarado-Ortega *et al.*, 2006b); en Xilitla, San Luis Potosí estos especímenes fueron descritos previamente como *Xiphactinus* e *Ichthyodectes* por (Maldonado-Koerdell, 1956); sin embargo, no se muestran caracteres de diagnóstico (Alvarado-Ortega, 2005), y de la cantera El Chango, Chiapas (Ovalles-Damián *et al.*, 2006), así como por un espécimen, posiblemente perteneciente a depósitos de *Thrissops* del Jurásico de Mazapil, Zacatecas (Villaseñor *et al.*, 2006).

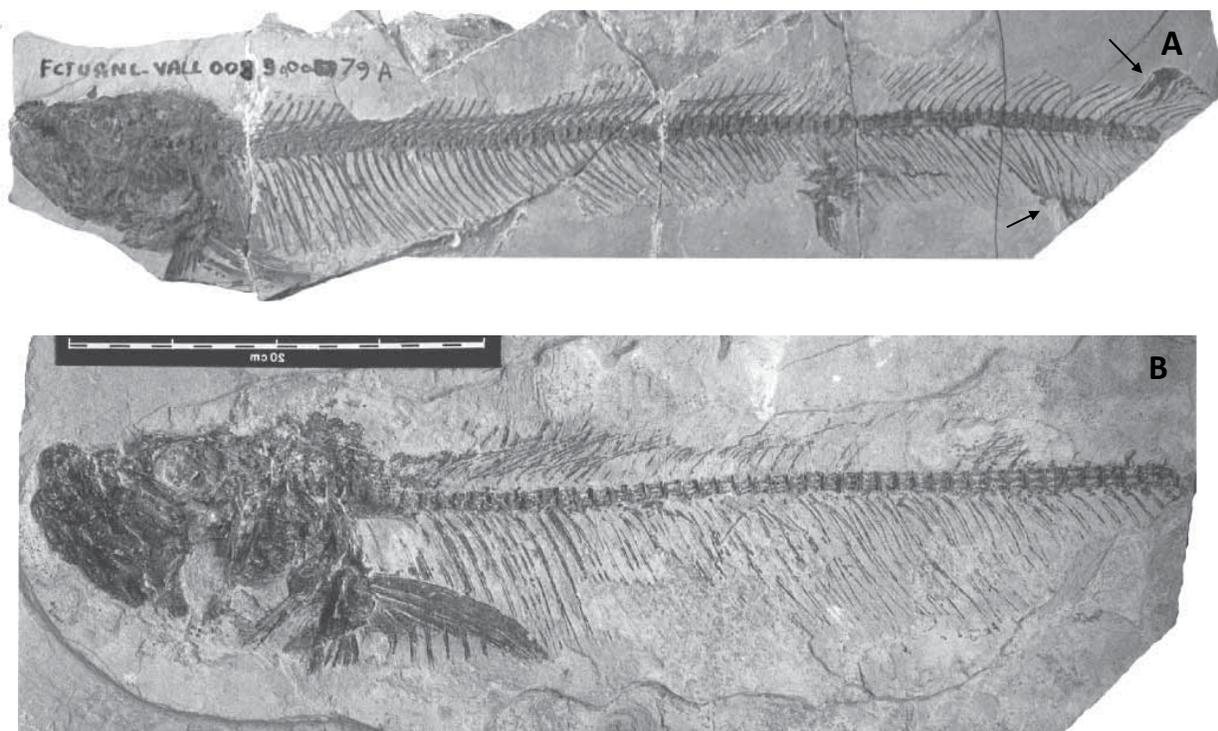


Figura 10. *Vallecillichthys multivertebratum* (Blanco y Cavin, 2003). A: FCT 079, holotipo y espécimen más completo conocido, las flechas muestran el origen de las aletas anal y dorsal; B: FCT 331, un espécimen de referencia. Barra de escala igual a 20 cm. Tomado de Blanco-Piñón y Alvarado-Ortega, (2007, p. 452).

g. Justificación.

Es de suma importancia y trascendencia la investigación de un pez marino (Subclase Actinopterygia) y su ambiente de depósito que habitó la Tierra entre 150 a 140 Ma. antes del presente, siendo éste, el primer ejemplar de esta subclase que se encuentra en México y particularmente en el Estado de San Luis Potosí.

h. Materiales y métodos.

El Material empleado en la elaboración de este trabajo consta de una porción craneal del esqueleto de un pez; así como una parte de aletas pectorales. Se dispone de un número incierto de huesos endocraneales y dermatocraneales de los que hasta ahora ha sido difícil de registrar, debido a que éstos son muy delgados, se encuentran desarticulados y en ciertas áreas se hallan compactados unos sobre otros, lo cual dificulta su reconocimiento demandando para ello de una cuantiosa inspección osteológica (Figura 11). Paleontológicamente se considera que todos estos elementos serán trascendentales a futuro en la identificación taxonómica del organismo; y con ellos, se espera obtener la especie del mismo.



Figura 11. Identificación de algunos elementos osteológicos craneales y parte de una aleta pectoral. D (dentario), F (frontal), P (parietal), Ctyal (ceratoyal), Q (cuadrado), Hm (hiomandibular), Ap (aleta pectoral).

I.- GEOLOGÍA Y ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO-FACIAL DEL ÁREA PALEONTOLÓGICA.

I.I.- Generalidades Fisiográficas.

I.I.I.- Fisiografía.

El área de estudio se encuentra localizada en la parte noroccidental del Estado de San Luis Potosí, ubicada fisiográficamente dentro de la Mesa Central (Guel-Díaz de León, 1985), hacia sus límites con la Sierra Madre Oriental, abarcando parte de las Subprovincias de Sierras Atravesadas. En el territorio municipal, se distinguen 3 zonas de relieve: Zonas Accidentadas, Zonas Semiplanas y Zonas Planas. De las cuales, a las primeras corresponde las regiones montañosas de Sierra Tapona y Sierra Los Picachos del Tunalillo, que colindan con la Sierra de Catorce, Picacho Los Lobos y Sierra de Coronado. De estas últimas, la segunda atraviesa de norte a sur la parte central del municipio, y en ella se ubica la zona de interés y la principal zona minera del municipio de Charcas (Figura 12).

De acuerdo con Tristán–González *et al.* (1995), localmente el área forma parte de una serie de serranías alargadas características de esta porción del altiplano potosino, sufriendo deformación compresiva durante la Orogenia Laramide. Con levantamiento y fallamiento normal ocurrido en el Terciario, exponiendo las unidades más antiguas de la secuencia, que incluyen sedimentos marinos triásicos y rocas volcánicas del Jurásico; los cuales, subyacen a la secuencia carbonatada cretácica que es característica de la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

A partir del Terciario Medio, se presenta un volcanismo calco-alcalino representado por tobas, vitrófidos y flujos de lavas de composición riolítica, en forma de domos y derrames de fisura que fueron emitidos a través de zonas de debilidad ocasionadas por el intenso tectonismo ocurrido en el área. El vulcanismo de la zona culmina con derrames igualmente fisurales, de basalto en el Mioceno Tardío.

La formación de subcuencas tectónicas hacia el Terciario Tardío, permite el depósito de un paquete de conglomerados, areniscas y limos basculados de origen lacustre que conforman el Conglomerado Charcas (Tristán–González *et al.*, 1995).

Finalmente, se manifiestan intensos periodos erosivos ocurridos a partir del Plio-Pleistoceno reflejando depósitos de conglomerados, arenas y limos poco consolidados de este tiempo, que cubren extensas pendientes de los bordes de las sierras.

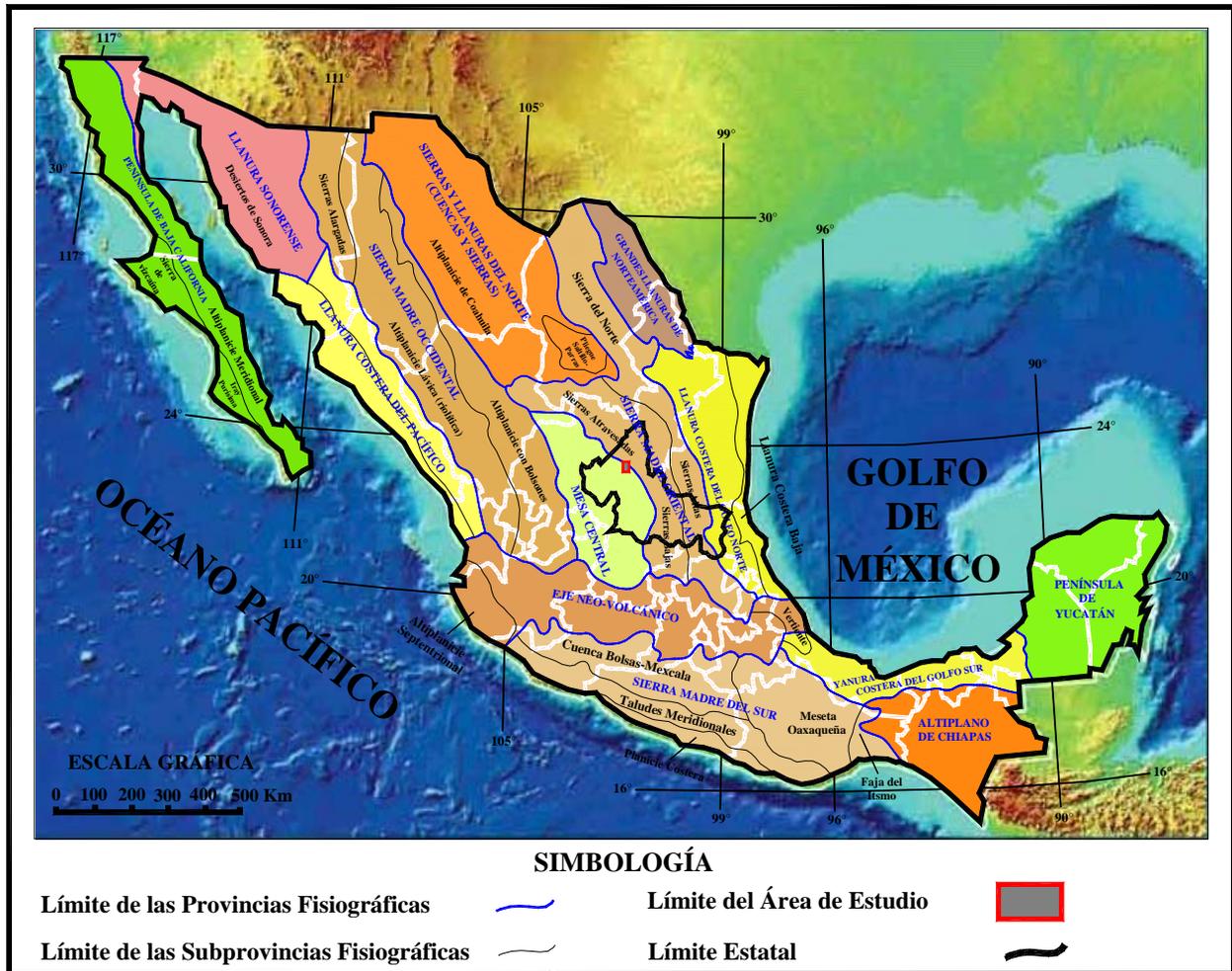


Figura 12. Mapa de provincias y subprovincias fisiográficas de México para el área de estudio en el estado de San Luis Potosí. Tomado de Lugo-Hubp (1990) y modificado por Flores-Castillo, (2011).

I.I.II.- Hidrología.

El estado de San Luis Potosí se divide en dos regiones hidrológicas fuertemente contrastantes: la región de El Salado y la región de Pánuco (Figura 13).

El municipio de Charcas y el área de Las Lajas, se localizan en la primera región anteriormente mencionada, en la porción noroccidental del estado. El municipio de Charcas presenta una superficie territorial de 2,164.66 km², donde las corrientes de agua superficial son intermitentes, escasas y de poco caudal, con un predominio anual de 394 mm.

De acuerdo con INEGI, 2002, en el estado de San Luis Potosí se encuentran 7 cuencas hidrológicas; de las cuales, localmente el área de estudio se ubica en la cuenca San Pablo, casi en los límites con la cuenca Matehuala (ver proyección del estado, Figura 13), ocupa 11.18% de la superficie estatal. Dentro de la entidad limita al noreste con la cuenca Matehuala, al sureste con la cuenca Presa San José Los Pilares y otras y al oeste con la cuenca Fresnillo-Yesca.

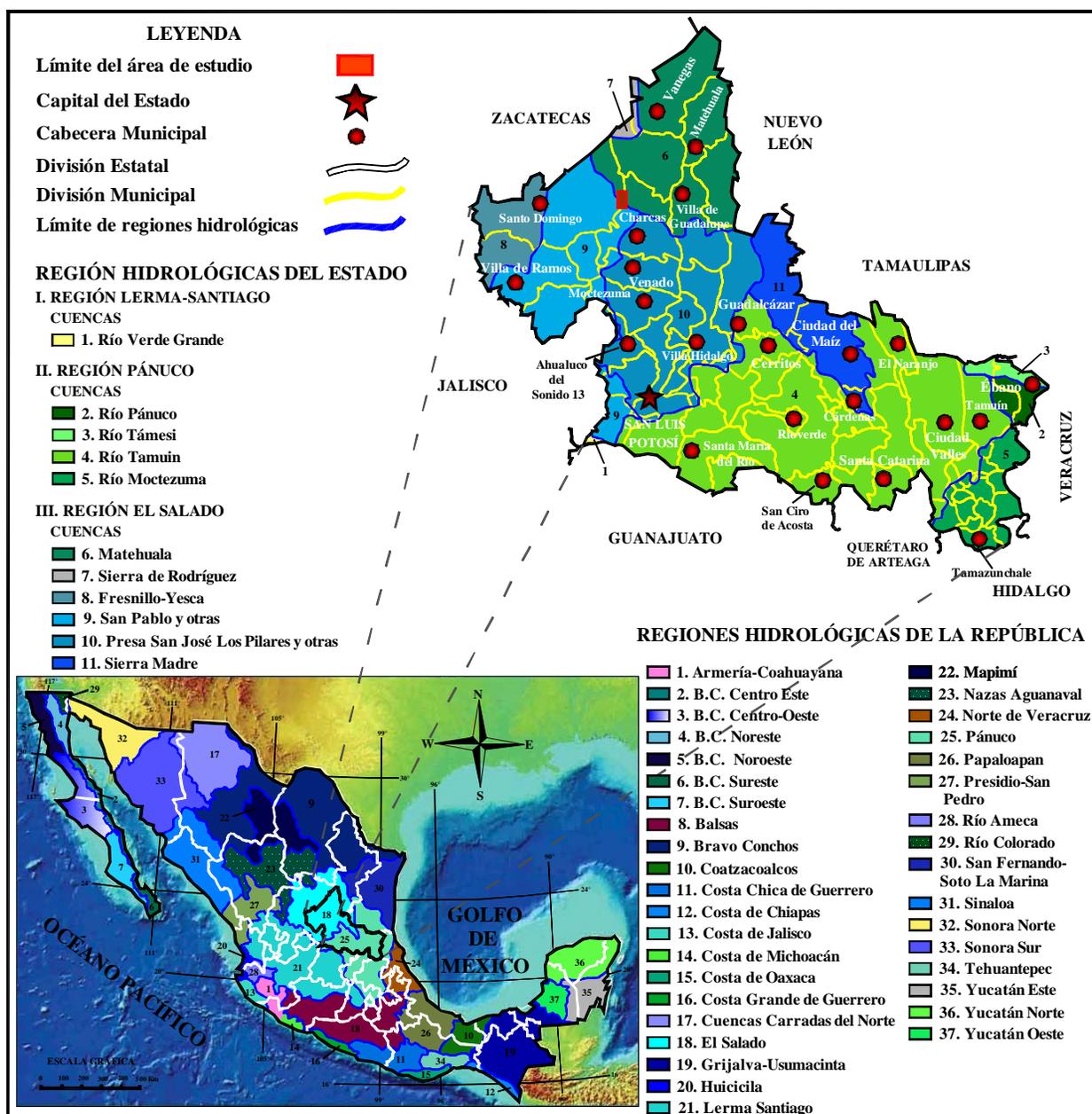


Figura 13. Mapa de Cuencas y Regiones Hidrológicas de México y San Luis Potosí. Tomado de <http://fishrules.tripod.com/anatomia/extanat.jpg>, en línea, fecha de consulta: 20 de Junio del 2011, y modificado por Flores-Castillo, (2011).

I.II.- Marco geológico del área paleontológica.

Paleogeográficamente el área de estudio se encuentra localizada en el límite oriental de la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Figura 14), al poniente de la plataforma carbonatada cretácica Valles-San Luis Potosí (Carrillo – Bravo, 1971). Asimismo, se puede ubicar en la parte occidental del Terreno Tectonoestratigráfico Sierra Madre (Campa & Coney, 1983), cerca de su límite occidental con el Terreno Guerrero y hacia la culminación sur de la provincia extensional conocida como Cuencas y Sierras (Basin and Range) de la República Mexicana (Stewart, 1978). Figura 15.

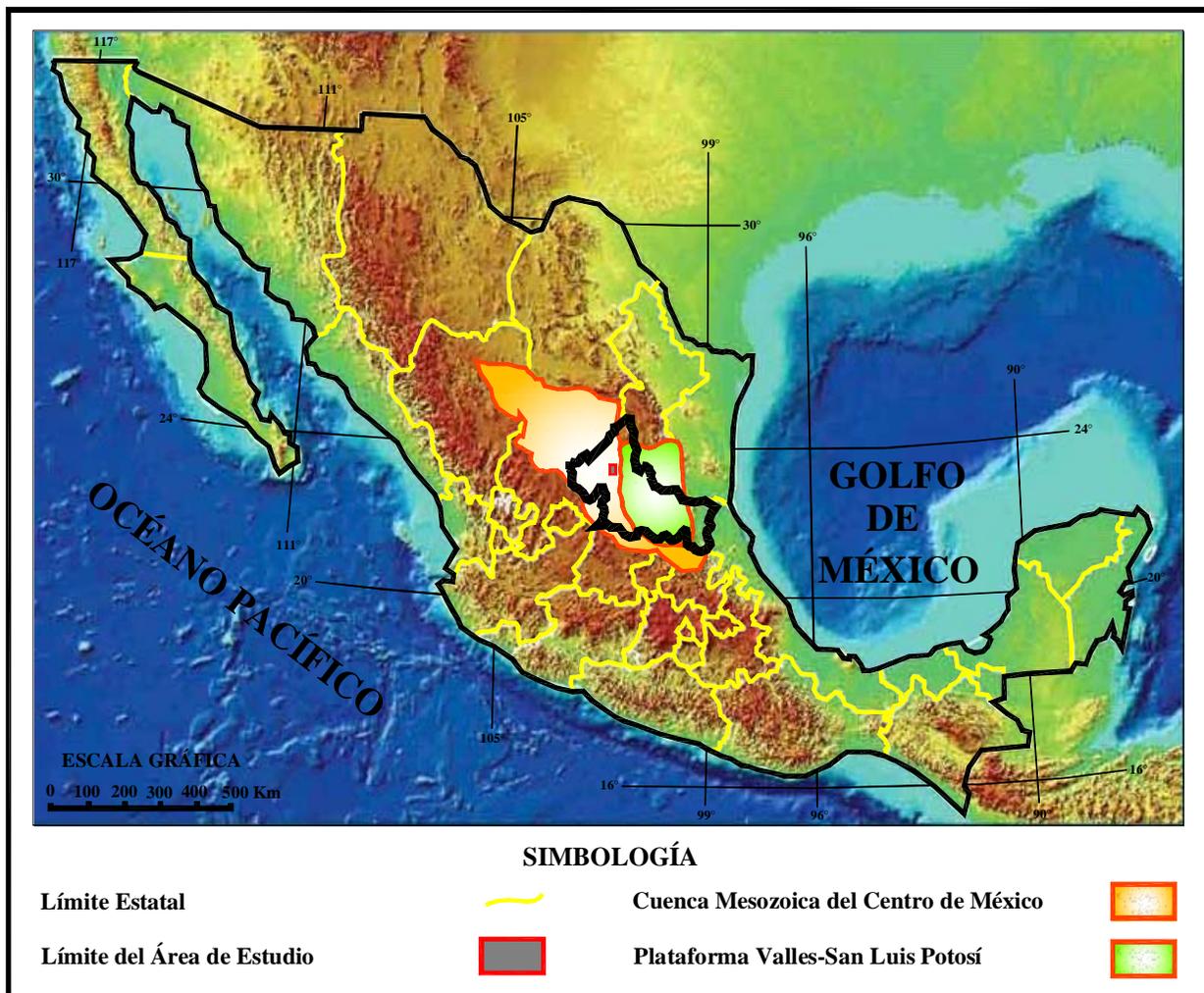


Figura 14. Mapa de la República Mexicana con las estructuras paleogeográficas donde se localiza el área de estudio.

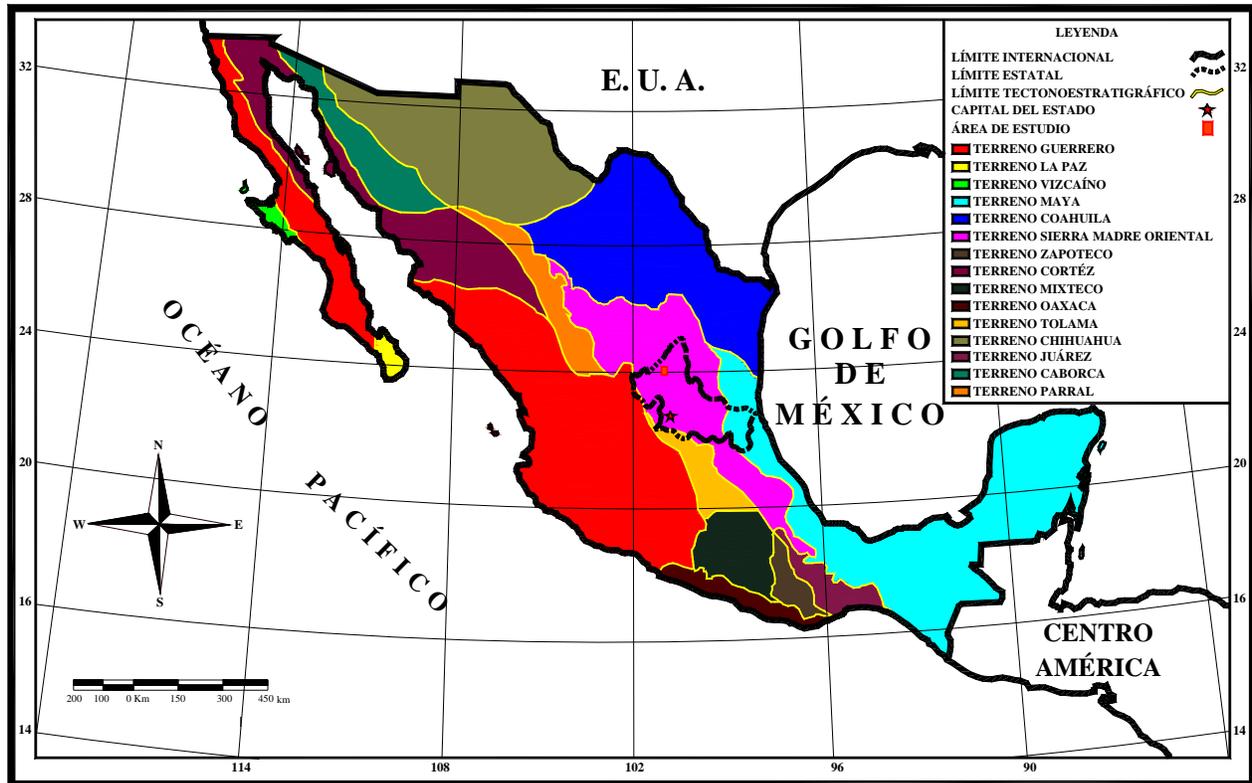


Figura 15. Mapa de Terrenos tectonoestratigráficos de México. Modificado de Campa-Coney (1983), por Flores-Castillo (2011).

La mayor parte de las unidades sedimentarias que afloran en el área de estudio fueron depositadas en la denominada Cuenca Mesozoica del Centro de México, (Carrillo-Bravo, 1982). En el subsuelo de esta cuenca, existe un paquete de rocas sedimentarias y volcanogénicas con edades del Triásico Tardío al Jurásico Temprano. Los depósitos de la cuenca, comprenden edades del Jurásico Tardío al Cretácico Tardío y se extienden desde la porción central del país, hasta la parte nororiental del estado de Durango y suroriente de Chihuahua. Esta cuenca contiene el registro sedimentario de un ciclo de sedimentación completo (apertura, desarrollo y clausura de la cuenca). La mayor parte de esta región se ubica en el terreno tectonoestratigráfico Sierra Madre Oriental, y los límites con el Terreno Guerrero (ver Figura 15), según la clasificación de Campa y Coney (1983).

De estas unidades señaladas con anterioridad, a continuación se mencionan las rocas más antiguas que afloran en la zona de estudio y que regionalmente conforman la sucesión estratigráfica (Figura 16):

- Para el Sistema Triásico se presenta una secuencia de lutitas y areniscas de la Formación Zacatecas (Triásico-Cárnico ?).
- El Sistema Jurásico se constituye por una secuencia volcanoclástica de la Formación Nazas (Jurásico Temprano a Medio); capas rojas y brechas conglomeráticas de la Formación La Joya (Calloviano-Oxfordiano); calizas de la Formación Zuloaga (Oxfordiano-Kimmeridgiano) y pequeños afloramientos de calizas areno-arcillosas de la Formación La Caja (Kimmeridgiano-Tithoniano), expuestos sobre el arroyo San Nicolás.
- El Cretácico está conformado por una serie de rocas calcáreas de la Formación Taraises (Berriasiano-Valanginiano); calizas de la Formación Tamaulipas Inferior (Cupido) del Hauteriviano-Barremiano; Formación Otates (La Peña) del Cretácico Inferior (Aptiano Temprano a Medio); calizas de la Formación Tamaulipas Superior (Aptiano Tardío-Albiano Temprano), así como calizas delgadas de la Formación Cuesta Del Cura del Cretácico Temprano-Medio (Albiano-Cenomaniano).
- Las unidades que conforman al Sistema Terciario se componen por la Riolita Lajas y pequeños afloramientos no cartografiables de Conglomerado Charcas que afloran en el cañón del arroyo San Nicolás.
- Las unidades del Sistema Cuaternario ubicadas en el Pleistoceno al Holoceno, constan de Coluvión, Caliche y Aluvión.

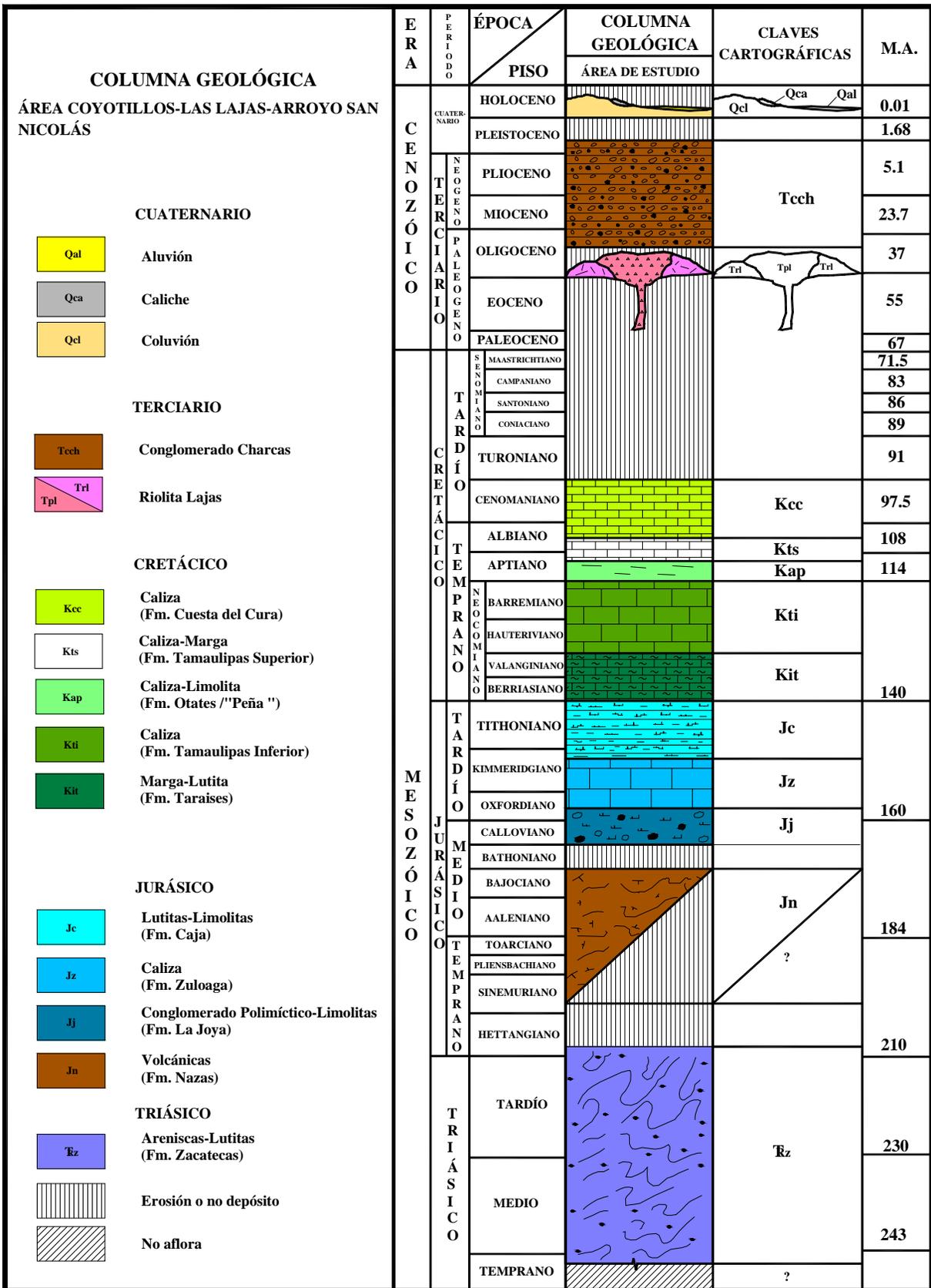


Figura 16. Columna geológica regional para el área de estudio. Tomado y modificado de Rivera-Mendoza *et al.*, 1999 por Flores-Castillo (2011).

I.II.I.- Estratigrafía Local.

En el área de estudio afloran La Formación Zacatecas del Periodo Triásico, las Formaciones La Joya y Zuloaga del Jurásico Medio-Tardío, ésta última concordante con la Formación La Caja del Jurásico Tardío. Del periodo Cretácico Temprano afloran concordantemente las formaciones Taraises, Tamaulipas Inferior, Horizonte Otates (“Peña”) y Tamaulipas Superior. Para el Cretácico Tardío transicional y concordante la Formación Cuesta del Cura respectivamente. A continuación se describen las formaciones previamente citadas:

Sistema Triásico.

Formación Zacatecas (Trz).

(Triásico, Cárnico?)

Definición. Las rocas triásicas de Zacatecas fueron descritas por primera vez en las cercanías de la ciudad de Zacatecas por Burckhardt (1905). Este autor describió la geología a detalle a lo largo del curso medio del arroyo La Calavera (o Arroyo La Pimienta), separándola en dos grupos: el inferior, formado por esquistos sericíticos que ocupan la base de la sección y de posible edad Paleozoica y el superior formado por esquistos silíceos y arcillosos, cuarcita y roca verde del Triásico Superior marino. Más tarde, Burckhardt y Scalia (1906), basándose en el hallazgo de algunos fósiles, dieron la pauta para fijar la edad de estas rocas en el Cárnico. Gutiérrez–Amador (1908) citó a estos autores refiriéndose a tales rocas como “La formación triásica de Zacatecas”. Burckhardt (1930) no le asignó nombre a estas rocas, solo les da una edad triásica. Después de Burckhardt (*op cit.*), todos los autores se refieren a los sedimentos que afloran en el Arroyo La Pimienta con los términos por él usados. Maldonado–Koerdell (1948), Pérea–Martínez (1961) y Chávez–Aguirre (1968), enriquecen el conocimiento de estas rocas con observaciones geológicas y paleontológicas. Es Carrillo–Bravo (1968) quien propone nombrar de manera informal como “Formación Zacatecas” a una secuencia de lutitas y areniscas de color gris verdoso y gris oscuro que contienen fósiles marinos del Triásico Tardío y cuya localidad tipo se encuentra en el Arroyo La

Pimienta localizado en las cercanías de la ciudad de Zacatecas. Martínez–Pérez (1972), mientras cartografiaba la región oeste de Charcas, reportó la ocurrencia de una secuencia flyshoide correlacionable con las secuencias descritas en Zacatecas y Peñón Blanco, además, la correlacionó tentativamente con unas rocas expuestas en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí y Sierra de Teyra en el norte del Estado de Durango. Cuevas–Pérez (1985) estudió las secuencias de rocas que se presentan en las localidades de la Ciudad de Zacatecas, Cerro Pastorías, Peñón Blanco, Charcas y Real de Catorce; con base en métodos petrográficos y sedimentológicos, él propone la correlación de una secuencia de rocas no fosilíferas en el Cañón Los Catorce (o Cañón General), cerca de Real de Catorce, con las secuencias del Triásico Tardío conocidas en Zacatecas y San Luis Potosí. Barboza–Gudiño (1989), Silva–Romo (1993), Tristán–González y Torres–Hernández (1992, 1994) y Tristán–González *et al.* (1995), cartografiaron las áreas de Real de Catorce, Peñón Blanco, Charcas y Presa de Santa Gertrudis respectivamente, en las cuales, confirmaron en base a fauna marina encontrada en las áreas de Peñón Blanco y Charcas una edad triásica para la Formación Zacatecas, quedando solo como una posibilidad debido a la ausencia de fósiles, la correlación con la secuencia expuesta en las localidades de Real de Catorce y Presa de Santa Gertrudis, que presentan tan solo similitudes litológicas y de posición estratigráfica. Silva–Romo (1993) interpretaron a la secuencia marina sedimentaria de rocas triásicas expuesta en el área de la Sierra de Salinas, como depósitos de un abanico submarino y la nombraron Formación La Ballena, ya que según sus observaciones, esta unidad y la Formación Zacatecas son litológicamente diferentes. Gallo–Padilla *et al.* (1993) y Gómez–Luna *et al.* (1997) estudiaron la fauna marina de la localidad de La Ballena, Peñón Blanco y proponen una posible edad de Triásico Medio o Tardío para esta secuencia.

Distribución. Los afloramientos en el área de estudio ocurren en las partes planas. En las inmediaciones del Poblado Coyotillos en donde la mayoría de estos están cubiertos por una delgada capa de aluvión.

Litología y espesor. La litología en el área de estudio consiste principalmente de una alternancia rítmica de areniscas de grano medio a fino, cuyos espesores varían de 3 a 5 cm (con capas esporádicas de 1m), de color gris claro a verdoso, con intercalaciones de lutitas fósiles de color gris verdoso en capas de 3 a 10 cm, esencialmente afectada por metamorfismo regional de bajo grado. En general, las areniscas presentan una coloración amarillenta-rojiza y ocre al igual que las lutitas, en ocasiones más oscuras o con tonalidades rojizas.

El espesor real de la Formación Zacatecas en el área de estudio no pudo ser estimado, ya que se trata de tan solo pequeños afloramientos, donde afloran rocas muy intemperizadas y plegadas. En la localidad de La Taponá, PEMEX perforó un pozo en ésta formación, cortando 4640 m de roca correspondiente a la Formación Zacatecas, como arriba se menciona, el espesor no es seguramente real, ya que debido a la intensa deformación y la posible repetición frecuente de capas y estructuras no se alcanza su base (Guel y Tenorio, 1982).

Relaciones estratigráficas. La Formación Zacatecas se encuentra subyaciendo en discordancia erosional a la Formación La Joya.

Edad y correlación. La edad de la Formación Zacatecas que aflora en el arroyo de La Pimienta en las inmediaciones de la Ciudad de Zacatecas, se encuentra fundamentada por el hallazgo de fauna del Triásico Tardío (Burckhardt, 1905; Maldonado–Koerdell, 1948). En la zona del Peñón Blanco, San Luis Potosí-Zacatecas, se encontró un ejemplar de *Sirenites sp.* (Chávez–Aguirre, 1968); personal del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, encontraron variedades, identificadas por el Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.) como *Pseudoloceras sp.*, *Metadinarites sp.*, *Parairachiceras sp.* correspondientes al Triásico Tardío, estos ejemplares se encontraron en las cercanías del poblado La Ballena, Zacatecas (I.M.P. oficio No - E64). En la Sierra de Charcas, se tiene reporte del hallazgo del *Juvavites sp.*, que fue clasificado por Cantú–Chapa (1969) y que corresponde al Cárnico Temprano, Gallo–Padilla *et al.* (1993), reportaron en la localidad del Arroyo Hondo, al surponiente de Charcas, San Luis Potosí una amonita identificada como *Anatomites aff herbichi*

Majsissovics y varios ejemplares de protobelemnoides del género *Aulacoceras*, fauna característica del Triásico Tardío. En localidad de La Ballena, Zacatecas, en el Arroyo La Huerta colectaron otros ejemplares de amonitas, que clasificaron como pertenecientes a la familia Beyri Chitidae Spath de edad Triásico Temprano y Medio. Para la Sierra de Real de Catorce, San Luis Potosí, Reaser *et al.* (1989), reportaron variedades de esporas correspondientes a *Lycospora sp.* y *Densosporites sp.* Con las cuales sitúan a las rocas de esa sierra en el Mississípico Tardío a Pensilvánico Temprano; sin embargo, la misma secuencia ha sido correlacionada con la secuencia triásica arriba descrita por Martínez-Pérez (1972), López-Infanzón (1986), Cuevas-Pérez (1985), Barboza-Gudiño (1989, 1998) y han interpretado la secuencia como la Formación Zacatecas del Cárnico con base a la posición estratigráfica, criterios petrológicos, litológicos y sedimentarios. Barboza-Gudiño *et al.* (1999), reportan en dos afloramientos en la localidad del Puente Los Catorce y otra localizada en el flanco este del Arroyo Carretas (Cerro del Mazo), en Real de Catorce, San Luis Potosí, moldes muy deformados y alterados de remanentes de plantas y algunos posibles pelecípodos (*Palaeoneilo sp.*) en la primera localidad y detritos de plantas en la segunda. En el área de estudio sólo se tiene el reporte de las muestras extraídas del pozo La Tapon 1, en las que se encontraron restos de esporas supuestamente del Cárnico (Tristán-González *et al.*, 1995). Cabe señalar que estas rocas también tienen semejanza con las de la Formación Guacamaya del área Huizachal-Peregrina, fechada como del Pérmico por Carrillo-Bravo (1961).

Esta formación se puede correlacionar con las formaciones: Taray del norte de Zacatecas y Huizachal o La Boca en Tamaulipas y Nuevo León, secuencias en Baja California, la parte inferior del Grupo Barranca del Centro y este del Estado de Sonora y la parte media-superior de la Formación Antimonio, localizada hacia el norte del mismo estado.

Sistema Jurásico
Formación La Joya (Jj)
Jurásico Medio-Tardío (Calloviano-Oxfordiano)

Definición. Imlay (1943) reconoció un conglomerado como un miembro basal de la Caliza Zuloaga, la cual cubre discordantemente las capas de la Formación Huizachal. Aparentemente, este mismo conglomerado fue descrito posteriormente como Formación La Joya, por Mixón *et al.* (1959), en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina, localizado en las cercanías de Ciudad Victoria, Tamaulipas, al oriente del poblado La Joya Verde. La litología que predomina en ese lugar, es una secuencia de 65 m de lechos rojos, cuya base está constituida por conglomerados. Su parte media la constituyen arcillas rojas, limolitas, areniscas de cuarzo y en la cima areniscas conglomeráticas. Aguayo–Camargo *et al.* (1985), identificaron la Formación La Joya en varias localidades de la Cuenca Mesozoica del Centro de México, la cual registra espesores de hasta 125 m en la Sierra de Real de Catorce y de 3 m en la Sierra de La Tapona y la describen como una secuencia terrígena interdigitada con conglomerados y horizontes calcáreos arcillo-limosos, que pasan transicionalmente a las calizas de la Formación Zuloaga. Mencionan que el ambiente sedimentario es de alternancia de abanicos aluviales y planicies fluviales de inundación, depositados sobre bloques de basamento en continua subsidencia (Tristán-González *et al.*, 1995). Barboza-Gudiño *et al.* (1999) consideran que la Formación La Joya, representa una unidad clástica basal de la secuencia evaporítica y transgresiva conocida como Grupo Zuloaga, pudiéndose agrupar en este grupo y no en el Grupo Huizachal, como fue inicialmente propuesto por Carrillo-Bravo (1961).

Distribución. La Formación La Joya se encuentra restringida en el área de estudio o incorporada transicionalmente a la propia Caliza Zuloaga. Es evidente en la base del Cerro Mesa Los Mingoles al oriente del poblado de Coyotillos y en el cañón del Arroyo San Nicolás afloran pequeñas ventanas de dimensiones no cartografiadas.

Litología y espesor. En el área de estudio, se presenta como margas de color café rojizo con contenido de calcita. Ocurre en capas de 0.5 - 2 cm de espesor que se encuentran muy fracturadas e intemperizadas. Se observan también algunos horizontes delgados de lutitas y areniscas de grano medio, de color verde grisáceo de 15 cm de espesor dentro de las margas.

El espesor de ésta formación es variable, primero porque cubrió una paleotopografía irregular, pero también porque su litología incluye sedimentos arcillosos, lo cual motivó a que actuara como superficie de despegue (*décollement*) sobre la cual se plegó la secuencia jurásica-cretácica y esto a su vez, hace que se acuñe en las unidades suprayacentes a la misma. En un perfil medido en el flanco noreste de la Sierra San Carlos se obtuvo un espesor de 19 m.

Relaciones estratigráficas. La Formación La Joya está descansando en discordancia erosional sobre la Formación Zacatecas, aunque su contacto en la mayoría de los casos es tectónico por *décollement*. Subyace concordantemente a la Formación Zuloaga.

Edad y correlación. Por su posición estratigráfica, con respecto a la Formación Zuloaga, se le puede ubicar en el rango Calloviano-Oxfordiano. Carrillo-Bravo (1961) reporta haber encontrado los fósiles *Nática georgeana* y *Eonavícula*, los cuales corresponden a este rango de edad.

La Formación La Joya se puede correlacionar con la Formación Yesos Minas Viejas, de la Sierra Madre Oriental; con la de Tepexi del Anticlinorio de Huayacocotla; con la Cahuascalas del área de Zacualtipán; y con la parte baja de las formaciones Tamán y San Andrés del área Tampico-Misantla.

Formación Zuloaga (Jz)

Jurásico Tardío (Oxfordiano-Kimmeridgiano)

Definición. Inicialmente la formación Zuloaga fue descrita por Buckhardt (1910, 1930), como *Caliza con Nerineas*; más tarde Imlay (1938), la definió con el nombre de

Caliza Zuloaga en las Sierra de Sombreretillo al norte de Melchor Ocampo, Zacatecas. Imlay la definió como una secuencia de capas de caliza dolomítica de color gris oscuro, con predominancia en la cima de algunos nódulos de pedernal negro, donde localmente algunas capas presentan un contenido faunístico de bivalvos mal preservados, gasterópodos y corales de edad Oxfordiano.

Distribución. Según PEMEX 1988a; la Formación Zuloaga tiene una amplia distribución geográfica, aflora prácticamente en toda la Sierra Madre Oriental, principalmente en la porción norte de la Cuenca Mesozoica del Centro de México. Siendo perforada en el subsuelo de las Cuencas de Burgos y porción norte de la Cuenca Tampico-Misantla.

Localmente la Formación Zuloaga se encuentra aflorando en ventanas pequeñas, como en El Cerro del Macareno en la porción poniente del área de estudio, hacia el noroeste se sitúa en Cerro Grande y Mesa Los Mingoles; y pequeñas ventanas al suroeste de la zona de estudio rumbo a Cerro Isidro.

De acuerdo con Aguayo-Camargo *et al.* (1985), en la cima de la Formación Zuloaga, los sedimentos presentan desarrollos arrecifales, siendo posible reconocer facies arrecifales con corales en posición de crecimiento además de pedacería y bioturbación de estos organismos. En su base, está formada por capas de caliza de color gris claro a gris amarillento de 20–40 cm, en ocasiones alcanzando hasta 1 m de espesor (Figura 17), con bandas de pedernal de color negro o castaño, pequeños nódulos de Fe, líneas estilolíticas paralelas a la estratificación y algunas capas fosilíferas con el fósil más característico de esta formación que es la *Nerinea sp.* Las calizas se encuentran intercaladas con margas fosilíferas de color café amarillento en capas de 20–40 cm.

Sedimentología y espesor. El espesor de la Formación Zuloaga es muy variable, debido a que el fondo marino donde se estaban depositando estos sedimentos era muy irregular, ya que había lagunas restringidas, plataformas pequeñas y zonas emergidas parcialmente, lo que ocasionó un depósito irregular más grueso en las zonas lagunares, llegando a alcanzar espesores de hasta 80 m y hacia otros sitios en los lugares de

plataforma solo de 15–20 m, como en el caso de la parte norte de la Sierra Los Picachos del Tunalillo, donde el espesor real se encuentra repetido varias veces, lo cual se debe a las imbricaciones tectónicas que ahí se formaron.

Relaciones Estratigráficas. La Formación Zuloaga descansa en algunos lugares sobre la Formación La Joya, siendo su contacto transicional. En otras ocasiones se encuentra discordante sobre la Formación Nazas, donde su contacto puede ser también tectónico por *décollement*; localmente para el área de estudio, el contacto superior de la Formación Zuloaga se encuentra concordantemente con sedimentos arcillosos de la Formación La Caja.



Figura 17. Afloramiento de la Formación Zuloaga, expuesto en el cauce del arroyo San Nicolás.

Edad y correlación. Burckhardt (1930), en su estudio de las calizas marinas del Mesozoico Mexicano da una edad a la Formación Zuloaga del Oxfordiano; Aguayo-Camargo *et al.* (1985) mencionan que esta formación contiene bivalvos, corales solitarios, algas (*Aciculares sp.*), organismos planctónicos, tales como, radiolarios y rhaxélicos (*Rhaxella sp.*) y en sus facies más someras; ostrácodos, miliólidos, abundantes pellas fecales (*Faureina salevensis*) y fragmentos de equinodermos y moluscos. Con esta serie de fósiles los autores la sitúan en el Oxfordiano. Jiménez-Camargo *et al.* (1982), le asignan una edad del Oxfordiano-Kimmeridgiano para el área

de la Sierra de Charcas, basados en los siguientes fósiles: *Vaugonia* (*Vaugonia* sp.), *Vaugonia* (*vaugonia*), *Calderoni Cucullea* (*Trigonarca* sp.), Ct. *Cucullea* (*Trigonarca catorcencis*), *Pleuromya incostants*.

La Formación Zuloaga se correlaciona con las Formaciones Novillo y Santiago del noreste de la República Mexicana; con la Formación El Olvido del área del Cañón de la Peregrina, Tamaulipas y Galeana, Nuevo León; con la Formación La Gloria de la Sierra de Parras y con la Formación Las Trancas de La Plataforma Valles-San Luis Potosí.

Formación La Caja (Jc)

Jurásico Tardío (Kimmeridgiano-Titoniano)

Definición. Imlay (1938), fue quién nombró formalmente a la Formación La Caja describiéndola como una secuencia de 83 m de espesor de calizas limolíticas dispuestas en capas delgadas, margas, limolitas calcáreas con pedernal, calizas arcillosas fosfatadas y limolitas con concreciones fosilíferas, que afloran en la Sierra de La Caja, en la Vereda del Quemado al norte de Mazapil, en el Estado de Zacatecas.

Distribución. Los depósitos de La Formación la Caja en el área de estudio son difíciles de separar de la Formación Taraises, sólo en algunos lugares específicos se pueden distinguir, restringiéndose a no más de 10 m de espesor y siendo comúnmente no cartografiable.

Litología y Espesor. Para el área de estudio la Formación la Caja está compuesta por un mudstone-wackestone de aspecto margoso, en alternancia con areniscas calcáreas equigranulares de grano fino a medio, de color gris claro a gris pardo que intemperiza a rojo pardo, violáceo y amarillo ocre, de textura cristalina a sacaroide, soportado en una matriz arcillosa con cementante calcáreo, dispuesto en estratos delgados a medianos con espesores que varían de 1 a 20 cm de ancho, con fractura pseudoconcoidal y olor fétido, intercalados rítmicamente con interestratificaciones

arcillosas de color amarillo a naranja que intemperizan a amarillo ocre y pardo rojizo (Figura 18).

El sistema de fracturas que ostenta esta unidad es de tipo paralelo y perpendicular a la estratificación, con vetillas rellenas de material calcáreo-arcilloso, con esporádicos nódulos de pedernal negro de aproximadamente 3 a 7 cm de diámetro que al intemperizar toman aspecto de nódulos de hierro. En partes, entre el tope y base de cada estrato los horizontes arcillosos muestran laminación ondulada perceptible sólo al deslaje, manifestando rizaduras o *Ripple marks* con ligera fisilidad (Figura 19).



Figura 18. Afloramiento de la Formación La Caja, expuesto en el área de estudio sobre el cauce del arroyo San Nicolás, coordenadas UTM: N 0281032, W 2575832, DATUM: NAD 27 México.



Figura 19. Superficie de erosión. En la reproducción fotográfica se aprecian algunas estructuras de rizadura, las cuales están presentes en el tope de los horizontes arcillo-arenosos de la Formación La Caja.

Regionalmente Escalante-Martínez (2006), reconoce y describe esta unidad como una alternancia rítmica de capas laminares y delgadas de lutitas, margas, limolitas, calizas arcillosas y bandas de pedernal negro. El conjunto intemperiza en gris claro con tonalidades que van desde violeta hasta rosado, y frecuentemente amarillentas y blancas. Aparentemente no es rica en fósiles como en las localidades que se describen de la Sierra de Charcas, aunque siguen apareciendo amonites deformados característicos de esta formación y otros tipos de fósiles. Hacia la cima cambia rápidamente a calizas arcillosas en capas de 5-10 cm intercaladas con limolitas de color café violáceo. La diferencia de la litología en comparación con la que aflora en áreas adyacentes, quizá se debe a un cambio lateral de facies, siendo en este caso de ambiente poco profundo, quizá facies distales o medias de un abanico deltaico (Tristán-González *et al.*, 1995). Aunque localmente para el área de este estudio el análisis microfacial reveló la existencia de microfauna escasa pero trascendental de tipo bentónica y planctónica, que la ubica en un ambiente de cuenca de mar profundo a plataforma de mar abierto, el cual según el estándar de microfacies de Wilson, 1975 y Flügel, 1982 la sitúa en una zona de tipo “FZ 1”.

El espesor es variable, llegando inclusive a desaparecer ya que por ser eminentemente terrígena, sirvió como plano de despegue de las diferentes imbricaciones tectónicas que se originaron durante la formación del *décollement* y cobijaduras. Su espesor máximo en la zona es del orden de los 10 m.

Relaciones Estratigráficas. La Formación La Caja descansa concordantemente sobre la Formación Zuloaga ya que se sitúa donde terminan las calizas gruesas y comienza una secuencia terrígena. Infrayace en concordancia a la Formación Taraises, en donde se marca el cambio a una secuencia de capas más gruesas.

Edad y correlación. Burckhardt (1906), al estudiar la Formación La Caja en el norte y centro de la República Mexicana le otorga una edad del Kimmeridgiano-Tithoniano. Butler (1972), consideró una edad del Tithoniano, basado en el pelecípodo *Substeueroceras sp.*, encontrado en la Sierra de Charcas. Tristán-González *et al.* (1995) encontraron el amonite *Perisphinctes (tomosphinctes sp.)*, perteneciente al

Kimmeridgiano-Tithoniano. Barboza-Gudiño *et al.* (1998) recolectaron fósiles que confirman una edad Jurásico Tardío, principalmente del Tithoniano con reportes de algunos especímenes del Kimmeridgiano y en base a esta información definieron una edad del Kimmeridgiano para la parte inferior y plenamente documentada una edad del Tithoniano para la parte superior de esta formación. Finalmente para el área de estudio, en este trabajo se reconoció fauna del Jurásico Tardío concerniente a *Aptichus mexicanus*, el cual hacia la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, Castillo y Aguilera en Carreño *et al.* (1989), ubican en el Kimmeridgiano-Portlandiano.

La Formación La Caja se correlaciona con la Formación La Casita del nororiente de la República Mexicana, la cual se considera una facie equivalente de plataforma más cercana a la costa que evoluciona desde facies deltaicas en la periferia de la denominada Península de Coahuila hasta las facies más profundas localizadas hacia el suroeste. También es correlacionable con la Formación Pimienta y parte superior del Grupo Tamán de la Cuenca Tampico-Misantla.

Sistema Cretácico

Formación Taraises (Kit)

Cretácico Temprano (Berriasiano-Valanginiano)

Definición. Imlay (1936), le dio el nombre de Formación Taraises a una serie de rocas calcáreas, que afloran en el Cañón Taraises, en la porción occidental de la Sierra de Parras, Coahuila; considerando a este sitio como localidad tipo, en donde detalla dos miembros que se suman en un espesor total de 148 m. El inferior, se encuentra compuesto por calizas de color gris con abundantes amonoideos, y el superior que consiste de calizas delgadas de color gris claro con abundantes fósiles hacia la base. Burckhardt (1906, 1912, 1925) y Böse (1923), estudiaron esta formación en la parte norte de la República Mexicana desde un punto de vista bioestratigráfico, basados en ejemplares de amonites.

Distribución. En el área de estudio, la Formación Taraises se encuentra distribuida en delgados espesores hacia el noroeste y sureste del Cerro La Mesa Los

Mingoles, en la base del Cerro Las Presitas, al suroeste del Arroyo Los Caballos, y pequeñas ventanas con dimensiones no cartografiables sobre el cauce del arroyo San Nicolás.

Litología y Espesor. En la base, esta formación se presenta como una alternancia de calizas de color gris oscuro en capas de 5-20 cm, intercaladas con limolitas del mismo color y bandas aisladas de pedernal negro de 3-5 cm de espesor. Las limolitas son las más abundantes en la base, pero siempre en forma subordinada con respecto a los estratos de caliza arcillosa. Hacia la parte superior disminuye el contenido limo-arcilloso y en donde se observa una alternancia de capas de caliza de estratificación media (10-20 cm) con bandas de pedernal negro de hasta 20 cm de espesor. El aumento de pedernal en esta formación de la base a la cima, es un fenómeno que se hizo notar en el estudio de la Hoja Charcas (Tristán-González y Torres-Hernández, 1992). Esto puede tener dos posibles implicaciones en cuanto a su origen: 1) Que el aporte de sílice fue mayor (origen volcánico), y 2) una profundización progresiva del fondo oceánico.

El contacto con la Formación Tamaulipas Inferior está marcado por una brecha sinsedimentaria lenticular cuyo espesor máximo es de 15 m. (Tristán-González *et al.*, 1995). Escalante-Martínez (2006), en su trabajo de licenciatura menciona que el espesor de esta formación fue estimado en unos 80 m en los perfiles geológicos; sin embargo, en algunas partes se estrangula, ya que por su contenido alto en arcilla sirvió como plano de deslizamiento donde se formaron las diferentes imbricaciones tectónicas, llegando entonces a tener sólo 10 m de espesor.

Relaciones Estratigráficas. La Formación Taraises sobreyace transicional y concordantemente a la Formación La Caja y subyace concordantemente a la Formación Tamaulipas Inferior y su límite con esta última aparece donde abruptamente se reduce el contenido arcilloso de la Formación Taraises y aumenta la interestratificación de capas de caliza microcristalina con nódulos de Fe. El contacto es por lo general una brecha calcárea sinsedimentaria lenticular.

Edad y correlación. Burckhardt (1930) e Imlay (1938), dieron una edad del Berriasiano a las capas inferiores de la Formación Taraises en la Sierra de Simón. Córdoba-Méndez (1965), encontró *Neocomites* del Berriasiano y *Thurmaniceras* que tienen un alcance del Berriasiano Tardío al Hauteriviano Temprano. Jiménez-Camargo *et al.* (1982), en su estudio de la zona Charcas-Venado ubicada al sur de esta área, encontraron el Fósil *Berriasella sp.* Colectado al poniente de Charcas, fechándolo como del Berriasiano-Valanginiano. La edad sugerida en este trabajo, de acuerdo a su posición estratigráfica y por el contenido fosilífero en áreas vecinas, es del Berriasiano al Valanginiano. Barboza-Gudiño *et al.* (1998) contemplan una edad que alcanza hasta la parte inferior del Hauteriviano en el área de Real de Catorce.

La Formación Taraises se correlaciona con la Formación Las Vigas, de Villa Ahumada, Chihuahua, con la parte inferior de la Formación Hosston, de la Serranía del Burro, Coahuila, y con la Formación Barril Viejo del Potrero de Menchaca, Coahuila.

Formación Tamaulipas Inferior (Kti)

(Hauteriviano- Barremiano)

Definición. La Formación Tamaulipas Inferior fue inicialmente definida por Muir (1936), como la secuencia que incluye todo el paquete de rocas carbonatadas del Cretácico Temprano hasta la Formación Agua Nueva (Cenomaniano-Turoniano). Previamente Stephenson hacia 1921 había utilizado informalmente este nombre para designar solamente a las calizas de cuenca del Albiano-Cenomaniano que aflora en la Sierra de Tamaulipas y en el subsuelo de Tampico en un reporte privado para la Compañía de Petróleo del Golfo de México, a su vez, la caliza Tamaulipas se extiende en todo el Cretácico Temprano y se divide en dos unidades: Tamaulipas Inferior y Tamaulipas Superior, separadas por una capa delgada de lutitas y calizas negras la cual fue denominada " Horizonte Otates " (Muir, 1936). Posteriormente Humprey y Díaz (1956), usaron el término como Formación Otates y le asignaron una edad Aptiano Tardío. En 1971, García y Zwansinger (Zwansinger, 1978), proponen el empleo de los siguientes términos formacionales en función de los medios ambientes de depósito:

Formación Cupido (plataforma), Arrecife Cupido (bancos arrecifales), y Formación Tamaulipas (cuenca).

Esta unidad ha sido cartografiada en la zona del altiplano o Mesa Central como Formación Cupido por diversos autores, siguiendo el criterio de Díaz (1953) quien propone que el nombre de Tamaulipas Inferior sea restringido al noreste de México y que el nombre de Formación Cupido sea usado para secuencias similares hacia el poniente, sin embargo la Formación Cupido es interpretada como una facies de aguas poco profundas de plataforma y en parte arrecifal que se extiende en el norte de México, mientras que las secuencias expuestas en la Mesa Central son facies de una cuenca que se puede interpretar paleogeográficamente como la misma cuenca en donde se depositó la caliza Tamaulipas Inferior, si bien probablemente con algunos elementos morfológicos que separaban estas dos regiones y que posteriormente se constituyeron los elementos paleogeográficos sobre los cuales hoy se observan marcados cambios de facies y separan las áreas de Tamaulipas y La Mesa Central, como lo es la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Barboza-Gudiño *et al.*, 1998).

Distribución. Esta formación se encuentra distribuida ampliamente al oriente del área de estudio en lo que conforma el flanco occidental de la Sierra Los Picachos del Tunalillo, y pequeñas ventanas hacia las inmediaciones del Cerro Mesa Los Mingoles, al noroeste del poblado Coyotillos y suroeste del Cerro Macareno.

Litología y espesor. La base de esta formación se caracteriza por una secuencia de calizas microcristalinas puras, en capas de 10-20 cm de color gris oscuro en muestra fresca y gris claro cuando esta intemperiza; comienza a tener nódulos abundantes de hematita y marcasita de 1-3 cm de diámetro, bandas y nódulos aislados de pedernal negro. Su macrofauna más común es de amonites aislados hasta de 5 cm de diámetro y belemnites. Su parte media se distingue por el aumento de grosor de los estratos de caliza, los más comunes son de 40-60 cm, llegando algunos a medir hasta 1.20 m; la caliza es por lo general de color gris claro, con líneas estilolíticas paralelas a la estratificación, nódulos de pedernal castaño y de Fe; en algunos horizontes, existen capas delgadas de limolitas de color violáceo que pueden medir hasta 20 cm; con

abundancia de belemnites. Conforme se avanza hacia la cima, las capas de caliza disminuyen de espesor hasta 30 ó 10 cm, con intercalación esporádica de bandas delgadas de pedernal negro y empiezan a presentarse capas delgadas de limolitas. Al igual que la mayoría de las formaciones calcáreas, existen franjas de alteración hidrotermal, formadas por reemplazamiento de capas de caliza por sílice negro, dando el aspecto de pedernal (Tristán – González *et al.*, 1995).

La Formación Tamaulipas Inferior es una de las formaciones de mayor espesor dentro de la secuencia de sedimentos marinos que se depositaron en esta cuenca. El plegamiento fuerte que presenta, dificulta medir un espesor real, sin embargo una estimación aproximada que se tiene por medio de los perfiles geológicos, del orden de 300 a 400 m (Tristán – González *et al.*, 1995).

Relaciones estratigráficas. La Formación Tamaulipas Inferior se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación Taraises y su contacto se ubica donde terminan las calizas y terrígenos de estratificación delgada y comienzan las capas de caliza microcristalina pura con nódulos de Fe. Subyace también concordante a la Formación Otates/La Peña y su separación es donde comienzan a presentarse alternancias de caliza, limolitas en capas delgadas, con algunas bandas de pedernal negro.

Edad y correlación. La edad de la Formación Tamaulipas Inferior en general ha sido establecida por medio de microfósiles planctónicos, además de los escasos belemnites y pequeños amonites, así como la ausencia de calpionélidos del Valanginiano, presentes en La Formación Taraises que la subyace. Ross (1979), reconoce una sección del Cañón de Santa Rosa, entre Galeana y Linares en el Estado de Nuevo León, compuesta de tres biohorizontes correspondientes respectivamente al Hauteriviano, Barremiano y Aptiano Temprano respectivamente, correspondiendo con el tope de esta unidad.

La Formación Tamaulipas Inferior se correlaciona con la Formación Cupido que aflora en el Estado de Coahuila y la base de la Formación Tamaulipas para la Sierra de

Salinas, Silva Romo (1993), con la Formación Guaxcamá de La Plataforma Valles-San Luis Potosí y con la Formación Plateros del área de Fresnillo, Zacatecas.

Formación Otates (“Peña”), (Kap)

Cretácico Temprano (Aptiano Temprano-Medio)

Definición. La Formación Otates fue inicialmente descrita por Muir (1936) como “Horizonte Otates” y es un equivalente de la Formación La Peña de Humphrey (1949), quien modificó la definición original de Imlay (1936). Posteriormente, Humphrey y Díaz (1956) elevaron el denominado Horizonte Otates al rango de formación y restringieron el uso de este nombre para el este de México. Por su pequeño espesor y carácter arcilloso, esta unidad permite reconocer y separar las secuencias de calizas de las formaciones Tamaulipas Inferior y Tamaulipas Superior. Para evitar confusión, en el presente trabajo se ha preferido usar el nombre de Formación Otates, ya que en la Mesa Central el nombre de Formación La Peña ha tenido una amplia difusión para designar a una unidad que incluye a la verdadera Formación La Peña en su base, más la Formación Tamaulipas Superior en su cima (Labarthe-Hernández *et al.*, 1982; Tristán-González y Torres-Hernández, 1994; Tristán-González *et al.*, 1995).

Distribución. La Formación Otates, aflora principalmente en el flanco oriental del área de estudio al pie de la Sierra Los Picachos del Tunalillo.

Litología y Espesor. La Formación Otates se presenta en el área de estudio como una alternancia de capas de calizas arcillosas, limolitas y pequeñas bandas de pedernal. El espesor de los estratos calcáreos es de 5-15 cm y se trata principalmente de turbiditas de carbonatos, aunque también se pueden observar en algunos horizontes, una parte de depositación química directa y otra, como un aporte de material carbonático que llegó en forma de corrientes de turbiedad. Este hecho se marca con estructuras de corte y relleno (estructura *alodáptica*). Las limolitas tienen espesores de unos pocos centímetros (0.5-5 cm), mientras que las bandas de sílice que se intercalan con las calizas y limolitas tienen espesores de 1-10 cm. Aparte del sílice

de depositación química directa, también se presentan bandas de sílice hidrotermal que se formó por reemplazamiento de algunas capas de caliza, en las cuales se conservó la forma de los fósiles y se repitieron rasgos de diagénesis como las estilolitas. El sílice primario tiene impreso juegos de cizalla, formados durante una etapa de compresión, mientras que en el sílice hidrotermal fueron parcial o totalmente borrados, además de que este último no respetó el espesor de los estratos; en un examen cuidadoso, se puede observar su asociación a patrones de fracturas. Su fauna se caracteriza por gran abundancia de amonitas pequeñas de por lo menos dos géneros, uno de ellos de enrollamiento escaso y simple, el otro desenrollado, además de horizontes con abundantes turrilitas (Tristán-González *et al.*, 1995).

El espesor de la Formación Otates es difícil de estimar, por ser una de las formaciones más plegadas en el área de estudio, además de que su cima normalmente no aflora. Por lo tanto sólo se da una estimación basada en los perfiles geológicos. Este espesor es del orden de los 40 a 50 m (Tristán-González *et al.*, 1995).

Relaciones Estratigráficas. La Formación Otates sobreyace en el área de estudio a la Formación Tamaulipas Inferior y su contacto es transicional, este a su vez, se encuentra colocado donde aparecen las capas de caliza delgada intercaladas con terrígenos. Su contacto superior es con la Formación Tamaulipas Superior que la sobreyace transicionalmente, pasando gradualmente a una secuencia de capas medianas y algunas capas gruesas de calizas más puras, con horizontes de materiales terrígenos intercalados. En estudios hechos anteriormente en esta área no se pudo distinguir con claridad esta última formación y se menciona que quizá se deba a la existencia de una cabalgadura (Tristán-González *et al.*, 1995).

Edad y correlación. De acuerdo con su posición estratigráfica, las edades reportadas para las formaciones La Peña en el noreste de México y Otates al este, así como la posición de esta unidad entre los biohorizontes de *Globigerinelloides spp.* y *Favusella washitensis* reconocidos por Ross (1979), esta formación es de edad Aptiano Temprano a Medio. La Formación La Peña es correlacionable en edad con la Formación Otates del este de México. Cantú-Chapa (1969), caracterizó a la cima de la

Formación La Peña, en el norte de la República Mexicana con ejemplares de *Hypacanthoplites gr. Jacobi* y ejemplares de *Acanthohoplites sp.* Pertenecientes al Albiano Tardío. En base al contenido faunístico en áreas vecinas (Real de Catorce y Charcas), se ha decidido tomar la edad determinada por Ross (1979) y Barbosa-Gudiño *et al.* (1998), correspondientes al Aptiano Tardío y Albiano Temprano respectivamente.

La Formación Otates se correlaciona con las formaciones Moritas y Conglomerado Glance, del nororiente de Sonora; con las Formaciones Travis Peak y parte superior de Parsall del norte de la Serranía del Burro en Coahuila.

Formación Tamaulipas Superior (Kts)

Cretácico Temprano-Medio (Aptiano Tardío-Albiano Temprano)

Definición. La Formación Tamaulipas Superior fue definida por Muir (1936) en el Cañón de la Borrega, 75 km al suroeste de ciudad Victoria, Tamaulipas, como una secuencia de 134 m de calizas de estratificación mediana, con lentes y bandas de pedernal de varios colores. Posteriormente Díaz (1953) propone que la parte superior de esta unidad es equivalente de la Formación Cuesta del Cura y reconoce como Formación Tamaulipas Superior solamente 93 m de la parte inferior de la secuencia descrita por Muir (1936).

Distribución. La Formación Tamaulipas Superior ha sido reconocida en La Sierra Madre Oriental, en La Sierra de Tamaulipas y en gran parte del subsuelo del sector norte de la planicie costera del golfo. En el área de estudio sólo afloran pequeñas ventanas no cartografiables sobre el cauce del arroyo San Nicolás.

Litología y Espesor. Para el área de estudio Escalante-Martínez, 2006, siguió el criterio de Díaz (1953), reconociendo como Formación Tamaulipas Superior a una secuencia de 30 m de calizas color gris intermedio a oscuro de estratificación mediana en la parte inferior y gruesa en la parte superior con alternancia de capas arcillosas delgadas de color gris claro con tonalidades amarillas y violáceas. Las calizas contienen abundantes calciesferas o foraminíferos planctónicos y pequeños amonites,

comúnmente de color negro, así como nódulos y bandas de pedernal de color gris, café y negro.

El espesor de la Formación Tamaulipas Superior se estima en alrededor de unos 30 m en el área de estudio.

Relaciones Estratigráficas. La Formación Tamaulipas Superior sobreyace transicionalmente a la Formación Otates y su contacto superior es también transicional con la Formación Cuesta del Cura.

Edad y correlación. En su estudio “Estratigrafía de la Caliza Tamaulipas, Noreste de México”, Ross (1979) considera una edad del Aptiano Tardío y Albiano Temprano para las capas correspondientes con esta unidad, con base en la identificación de los biohorizontes de *Favusella washitensis*, *Colomiella recta*, *Pithonella innominata* y la culminación de *Microcalamoides diversus*.

Esta unidad es correlacionable en edad con la Formación Aurora que es un equivalente de plataforma y en parte arrecifal, que se localiza hacia la parte central del estado de Coahuila, y a la vez se puede correlacionar con la Formación Guaxcamá que aflora en La Plataforma Valles-San Luis Potosí.

Formación Cuesta del Cura (Kcc)

Cretácico Temprano-Medio (Albiano-Cenomaniano)

Definición. La Formación Cuesta del Cura fue definida originalmente por Imlay (1936) en la localidad Cuesta del Cura, en la Sierra de Parras hacia el sur de Coahuila. La secuencia descrita comprende 64 m de capas delgadas de caliza de color gris oscuro, con escasos horizontes arcillosos, intercaladas con bandas onduladas de pedernal negro, que sobreyacen a la Formación Aurora del Albiano Inferior y subyacen a la Formación Indidura del Turoniano.

Distribución. La Formación Cuesta del Cura aflora principalmente en el flanco oriental del área de estudio en sitios similares a la Formación Tamaulipas Superior.

Litología y Espesor. En el área de estudio se constituye de una secuencia de calizas arcillosas en capas delgadas y medianas, laminaciones, bandas y lentes de pedernal negro que se intemperiza a color gris y ocre. Las bandas presentan espesores de hasta 5 cm y ocasionalmente más gruesas (Figura 20). Las calizas contienen calciesferas y pellets, presentándose también lechos de lutitas calcáreas así como impresiones de amonitas recristalizadas, *turritélidos sp.* y fragmentos de radiolarios. La formación en general, intemperiza a tonos de gris claro a oscuro con predominancia de este último, aunque en los sitios donde se presenta las lutitas, el color varía a blanco y amarillento con tonos rojizos y violetas.



Figura 20. Afloramiento de la Formación Cuesta del Cura, expuesto en el área de estudio sobre el cauce del arroyo San Nicolás.

De acuerdo con Silva-Romo (1993), el espesor de la Formación Cuesta del Cura se estima en 160 m para la Sierra de Salinas. Labarthe-Hernández *et al.* (1991), calculan un total de 300 m en la misma zona. Tristán-González *et al.* (1995), no reconocen la existencia de esta formación en el área, pero en el área de Charcas,

Tristán y Torres-Hernández (1994), reconocen esta unidad y señalan que su posible espesor sea de 80 m.

Relaciones Estratigráficas. La Formación Cuesta del Cura sobreyace transicionalmente a la Formación Tamaulipas Superior en las localidades donde aflora y no la sobreyace ninguna unidad litológica dentro del área de estudio.

Edad y correlación. La fauna que se presenta en esta unidad sitúa a la misma en una edad Albiano Tardío-Cenomaniano, según las descripciones de *Seaphites sp.* (Parkinson), *Crioceras sp.* (D'Orbigny) y *Diploceras sp.*, que permitirían ampliar el rango hasta el Aptiano Tardío, aunque no se hicieron determinaciones de globigerínidos que llegan a ser muy abundantes y determinativos para el Albiano-Cenomaniano Temprano.

La Formación Cuesta del Cura se correlaciona con las Calizas Fortuna y Cerro Gordo de la región de Zacatecas, y con la Formación El Abra de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

Sistema Terciario

Riolita Lajas (Trl/Tpl)

Definición. Estos derrames lávicos que forman estructuras tipo domo exógeno, solo aparecen en los mapas geológicos regionales como una roca riolítica. Su composición es diferente a la de los domos que afloran al sur de la Hoja Charcas (Tristán-González y Torres-Hernández, 1992) y es muy semejante a los domos formados por la Riolita San Miguelito, en el Campo Volcánico de San Luis Potosí (Tristán-González y Torres-Hernández, 1994); Tristán-González *et al.* (1995), describen informalmente a esta unidad como Riolita Lajas 1 y Riolita Lajas 2, en donde la localidad tipo se ubicaría en el poblado de Lajas.

Distribución. La Riolita Lajas se localiza en la parte noreste y noroeste del área de estudio, hacia el norte del poblado de Lajas.

Litología y espesor. La Riolita Lajas está formada por un derrame lávico importante, Tristán González *et al.* (1995) divide a esta formación en dos miembros informales. En el presente trabajo a estos derrames se les denomina Riolita Lajas, debido a que en el área de estudio únicamente se encuentra presente la primer unidad, sus características se describen a continuación:

El derrame Inferior de esta unidad la conforman 2 domos exógenos que se emplazaron a través de una o varias fisuras orientadas 315° a 330° y forma la mayor parte de los afloramientos, en la zona central y cercana a la fuente, es un derrame lávico de color café grisáceo de textura porfirítica muy fluidal, con un 10-15 % de fenocristales de cuarzo y sanidino de 1-3 mm, ferromagnesianos oxidados, mica esporádica de color dorado, todos ellos englobados en una matriz afanítica. Hacia la base presenta cavidades abundantes (*tafoni*), dejadas por el escape de gases siendo las más comunes de 5-30 cm.

En la parte norponiente en la base de la Mesa Los Caballos, existen obras mineras pequeñas que fueron explotadas por estaño del tipo fumarólico; también en esta zona se observan manchones grandes de la roca riolítica silicificada, oxidada y argilizada. Hacia los lóbulos, la riolita sigue siendo fluidal de color café a gris claro, de textura holocristalina, porfirítica de matriz afanítica con un 10-15 % de fenocristales de sanidino euhedral y cuarzo subhedral de 2-3 mm, con ferromagnesianos alterados. La base de los lóbulos generalmente la forma un vitrófido lenticular de color negro verdoso, con abundantes esferolitas y franjas de desvitrificación muy fluidal. En la parte más elevada del Cerro Junchepe existe aún evidencia de su caparazón vítreo, con zonas de argilización y silicificación fuerte, presencia de vitrófido de color verde claro muy fluidal en todas las direcciones, con desarrollo de zonas de desvitrificación (esferolitas hasta de 5 cm), calcedonia, ópalo y sobre de este caparazón un horizonte de toba de color blanco sin soldar (Tristán-González *et al.*, 1995).

El espesor de los derrames correspondientes a la Riolita Lajas es muy variable, pudiendo alcanzar hasta 300 m en su parte central y de 20-50 m en los lóbulos (Tristán-González *et al.*, 1995).

Relaciones estratigráficas. La Riolita Lajas se encuentra descansando discordantemente sobre las diferentes rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, principalmente sobre la Formación Tamaulipas Inferior (Tristán-González *et al.*, 1995).

Edad y correlación. La edad de esta roca no ha sido determinada por métodos radiométricos. Sin embargo, por su posición estratigráfica sobre las rocas Cretácicas y por comparación con otras rocas del Campo Volcánico de San Luis Potosí, se le puede estimar tentativamente como del Oligoceno (Tristán-González *et al.*, 1995). Se puede correlacionar con los domos riolíticos con topacios de los campos volcánicos de San Luis Potosí y Guanajuato, (Labarthe-Hernández *et al.*, 1982, Tristán-González, 1986); Aguillón-Robles (1994), fechó un domo riolítico topacífero por el método de K-Ar en biotita dándoles una edad de 29.2 ± 0.8 Ma.

Conglomerado Charcas (Tcch)

La referencia informal publicada acerca de este conglomerado, es mencionada por Tristán-González y Torres-Hernández (1994), quienes designan con este nombre a un potente paquete de depósitos conglomeráticos formados por clastos redondeados que van desde 1 a 80 cm de diámetro, principalmente de calizas y rocas volcánicas dacíticas cementadas por una matriz de caliche y arcilla que afloran en los arroyos al norte del poblado de Charcas.

Para el área de estudio en el cauce del Arroyo San Nicolás, esta unidad aflora en pequeños depósitos de espesores no cartografiables. Consisten de fragmentos muy redondeados, principalmente de caliza, pedernal y rocas volcánicas muy esporádicas (Figura 21). Estos se encuentran un poco consolidados hacia la cima y hacia la parte baja muy cementados en una matriz de caliche y arcilla. Quizá algunas de las lomas que se consideraron en el mapa como conglomerado Charcas, están cubiertas por depósitos delgados de conglomerado reciente (Tristán-González *et al.*, 1995).

El espesor de esta unidad es incierto ya que no se cuenta con perfiles expuestos o información de pozos o barrenos, pudiendo alcanzar espesores de más de 100 m como en el caso del área de Charcas.



Figura 21. Afloramiento de Conglomerado Charcas, expuesto en el área de estudio sobre el cauce del arroyo San Nicolás.

Estos depósitos cubren a las diferentes unidades de rocas marinas que afloran en el área, y se encuentra cubiertos hacia la parte oriental, fuera del área de estudio, por derrames delgados de ceniza de la Ignimbrita Guanamé y por algunos derrames de basalto.

La edad de acuerdo con otras localidades, pudieran pertenecer a gran parte del Terciario, ya que la Ignimbrita Guanamé que los sobreyace fuera del área de estudio, tiene una edad de 32 M.a. (Labarthe-Hernández y Jiménez-López, 1991), por lo que algunas capas pudieron haberse depositado en el Oligoceno Tardío, pudiéndose extender en tiempo y espacio hasta el Mioceno o Plioceno.

Sistema Cuaternario

Coluvión, Caliche y Aluvión.

En el área existe una serie de depósitos acumulados sobre las laderas de los cerros (Coluvión), que consiste en una serie de fragmentos y bloques sin redondear, generalmente sueltos o compactados parcialmente con suelo residual o caliche.

Las carpetas de caliche son bastante comunes sobre las laderas de los cerros de caliza y pueden alcanzar espesores de 1-5 m, los cuales también se encuentran sobre los conglomerados y ocasionalmente en forma de lentes.

Los conglomerados y aluviones generalmente se localizan en terrazas aluviales, en los valles extensos que se formaron en el área de estudio y consisten de gravas, arenas y limos sin consolidar (Figura 22).



Figura 22. Afloramiento expuesto en una ladera del arroyo San Nicolás, en él se aprecia la secuencia con pequeños lentes de caliche, Aluvión y algunos paleocanales que contienen conglomerados aún sin cementar.

I.II.II.- Geología Estructural.

Descripción de estructuras.

Escalante-Martínez (2006), menciona que las estructuras mayores y más notorias que se presentan en el área de estudio, se atribuyen a la orogenia Laramide, es posible reconocer estructuras producto de una extensión durante el Jurásico Temprano a Medio, y durante e inmediato posterior al depósito de los productos volcanogénicos de la Formación Nazas.

Estructuras Laramídicas.

Es considerada Orogenia Laramide la deformación ocurrida desde el Cretácico Tardío hasta el Terciario Temprano y que originó la mayoría de las estructuras existentes en el área de estudio. Como producto de este evento, se desarrollaron pliegues, *décollement* (deslizamientos entre capas) y corrimientos intraformacionales, que son los estilos principales de deformación presentes.

En el área de estudio no se observan pliegues paralelos continuos, aunque la mayoría están rotos por los efectos de fallas inversas o *décollement*. Hacia los flancos de las estructuras anticlinales y sinclinales se presentan fallas que se originaron debido a este evento deformacional. De acuerdo con Escalante-Martínez, 2006, las estructuras laramídicas mayores observadas en el área de estudio son:

El Sinclinal Los Picachos del Tunalillo que es la estructura que forma el núcleo de la sierra con el mismo nombre, siendo la de mayor extensión en las cercanías del área, conforma rocas del Cretácico que fueron deformadas intensamente, ocasionando una serie de pliegues recostados al nororiente, que al romperse causaron múltiples imbricaciones tectónicas con dirección de empuje similar a la de los pliegues, Tristán-González *et al.* (1995). Hacia el noroeste del cerro Mesa Los Mingoles se encuentra aflorando principalmente la Formación Tamaulipas Inferior, con algunas ventanas ubicadas hacia el flanco oriental del área de estudio. Tristán-González *et al.* (1995), mencionan que se trata de un flanco normal de un anticlinal recostado, antes de ser afectado por las fallas de compresión, que rompieron el pliegue principal y ocasionaron

el deslizamiento de la secuencia cretácica-jurásica sobre la secuencia del Triásico (*décollement*). Hacia la parte norponiente de la sierra se localiza un afloramiento amplio de la Formación Zuloaga, la cual presenta un espesor considerable debido quizá a una serie de imbricaciones tectónicas dentro de la misma formación, que a su vez en conjunto se deslizó sobre las rocas de la Formación Taraises.

I.III.- Análisis sedimentológico-facial para la Formación La Caja, localidad Las Lajas, Arroyo San Nicolás, Municipio de Charcas, San Luis Potosí.

I.III.I.- Estudio sedimentológico-petrográfico.

Las rocas de la Formación La Caja donde se encontraron los restos del vertebrado estudiado, se componen principalmente de un *mudstone a wackestone* con alternancia de arenisca calcárea. Con el fin de presentar un análisis sedimentológico facial y microfacial de las condiciones donde quedó fosilizado el organismo en cuestión, a continuación se describe el proceso implícito en dicho estudio, partiendo desde la metodología de preparación para el laminado petrográfico, hasta el análisis facial resultante.

I.III.II.- Metodología para la preparación de laminado petrográfico.

En la localidad del Arroyo San Nicolás localizado en las coordenadas UTM: N 0281032, W 2575832, DATUM: NAD 27 México, se realizó un muestreo estratigráfico y en adición a la descripción megascópica de campo (ver página 33), se efectuó un análisis microscópico de las muestras. Para ello se tomaron un total de 29 muestras de roca pertenecientes a estratos de la Formación La Caja, 14 de ellas derivadas de la parte inferior del “nivel base” donde se localizó al vertebrado de estudio, al cual se le denominó NF0 ó Nivel Fósil; en tanto que a las muestras subyacentes a este nivel se les clasificó con las claves -NF1 a la -NF14; donde el signo (-) denota que las muestras fueron obtenidas debajo de dicho horizonte. El resto de las muestras concernientes a +NF1 a la +NF14, procedieron de los niveles suprayacentes situados arriba del horizonte base.

Después de la extracción, cada muestra se etiquetó y envolvió en papel periódico con su clave de correspondencia respecto al horizonte o nivel de origen. Una vez en laboratorio, el proceso a seguir se efectuó como se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Proceso de laminado para las muestras colectadas en campo pertenecientes a la Formación La Caja. A. Después del corte sobre una de las caras del cubo, se añade un abrasivo (carburo de silicio) y posteriormente se efectúa el pulido a mano frotando la muestra contra el vidrio en movimientos circulares. B y C. Continuando con el procedimiento anterior y para dar un mejor acabado al desbaste de la muestra, con el auxilio de una pulidora, nuevamente se pule la superficie que a la postre, conforma la plataforma sobre la cual se pega al vidrio que constituye la lámina petrográfica; D. Resinas epóxicas termo-plásticas utilizadas para pegar la roca sobre el vidrio; E y F. Después de calentar las resinas en un recipiente sobre una platina caliente, con bate lenguas se añade parte de la misma sobre la superficie de la muestra previamente pulida; G. Corte milimétrico del cubo sobre la cara donde se pegó el vidrio de porta muestra, en este tajo se deja un espesor que involucre tanto al vidrio como escasos 1 ó 2 mm de roca que eventualmente será desbastada y analizada al microscopio; I. Lámina delgada lista para su escaneo digital, con apoyo de una computadora se analiza la fábrica de la misma.

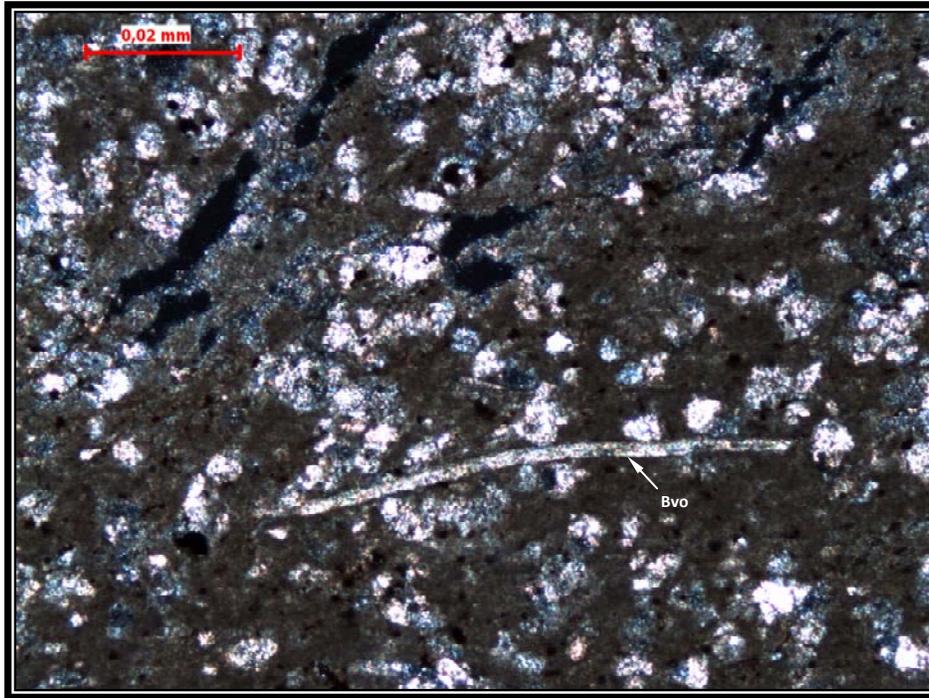
I.III.III- Estudio petrográfico.

Después de haber elaborado láminas delgadas, el siguiente paso es el análisis microscópico petrográfico. Por su predominancia y repetitividad en el contenido de la secuencia sedimentaria local, en el depósito de la columna estratigráfica se separaron las muestras más representativas, por lo que en este trabajo sólo se describen 9 de las 29 muestras analizadas, considerando primordialmente además de la litología el contenido faunístico de la misma. En este contexto a continuación se exponen sus descripciones pertinentes.

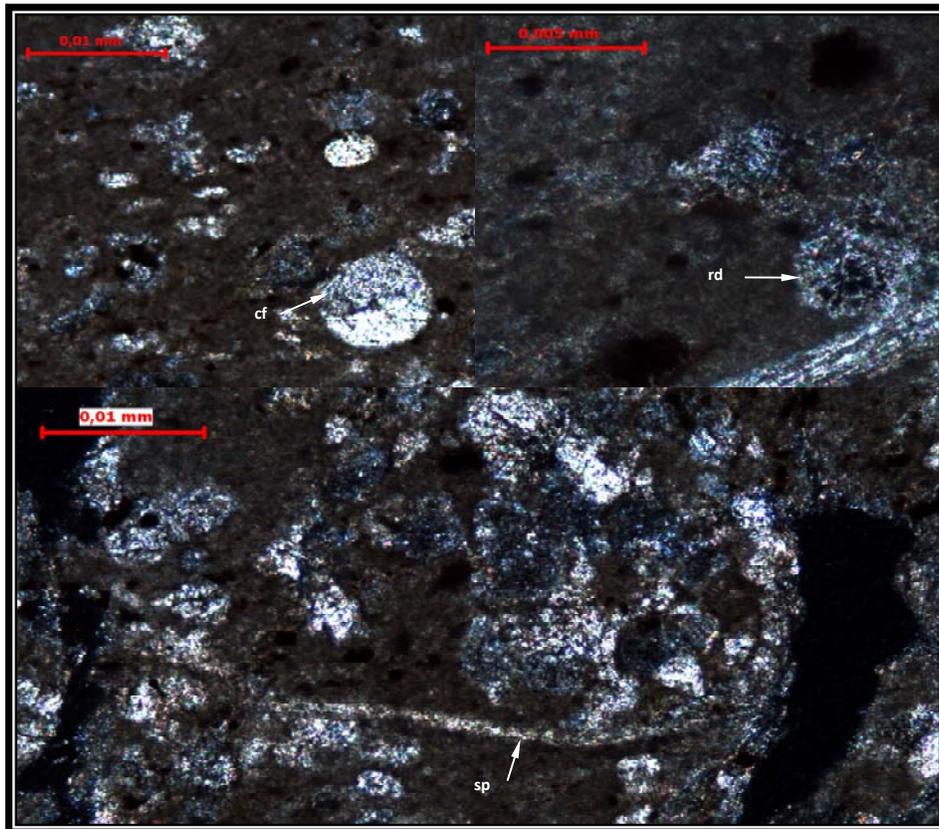
Muestra +NF6. *Wackestone de calciesferas/Biomicrocristal laminada* (Figura 24).

Roca constituida por un 20% de componentes menores a 2 mm, consta de microfósiles (foraminíferos planctónicos y bentónicos), con calciesferas y esporádicos radiolarios; así como bioclastos de braquiópodos y bivalvos, con algunos óxidos (5%), dispuestos en una matriz micrítica (60%) de color café a café pardo. La roca presenta laminación planar de tendencia ondulada, la cual está soportada por una fábrica de tipo "mud-supported", con pequeños parches que presentan una masa básica esparítica a pseudoesparítica (15%), de los cuales sus cristales mantienen un contacto de tipo suturado a tangencial con bordes difusos.

Con base en los protozoarios planctónicos presentes según la clasificación de Flügel, 1972 y Wilson, 1975, el horizonte muestreado se ubica en el tipo SMF-1, con zonas FZ-1 (Cuenca, zonas de aguas profundas con sedimentación muy lenta); SMF-2 con zonas FZ-1 y FZ-2 (Plataforma abierta en la zona inferior del talud) y SMF-3 con zonas FZ-1 y FZ-2 (Plataforma abierta en la zona inferior del talud), FZ-3 (Zona más profunda del margen de plataforma). En conjunto, estas facies corresponden con un grado de luminosidad que va de moderado a bajo con un índice de energía moderado a bajo.



a



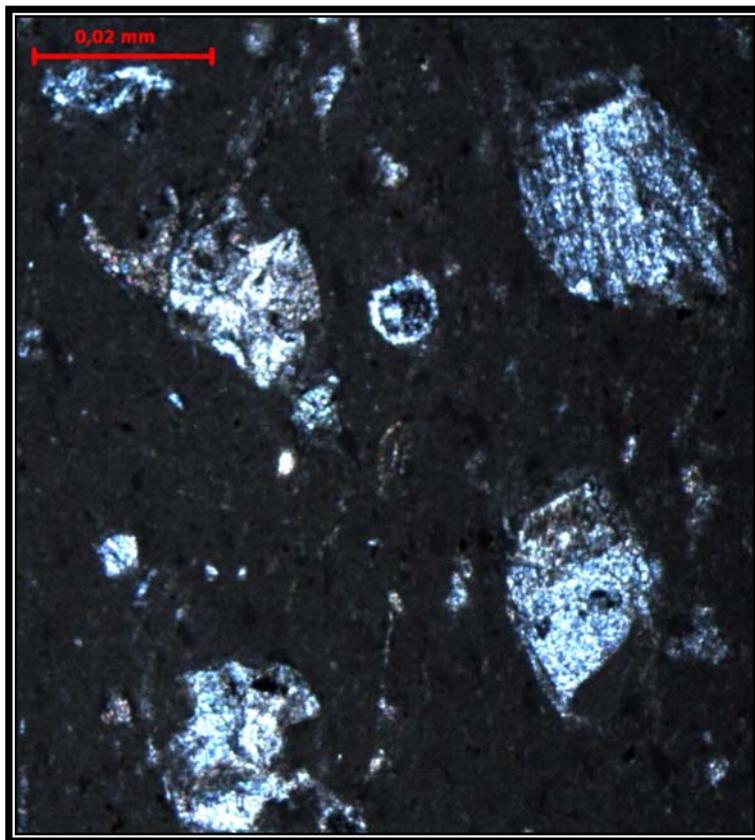
b

Figura 24. Wakestone de calciesferas/Biomicrota. a. Lodo micrítico con foraminíferos, calciesferas, y al centro un bioclasto de bivalvo (Bvo); b. Calciesfera (cf), radiolario (rd), espícula (sp) y parches de esparita.

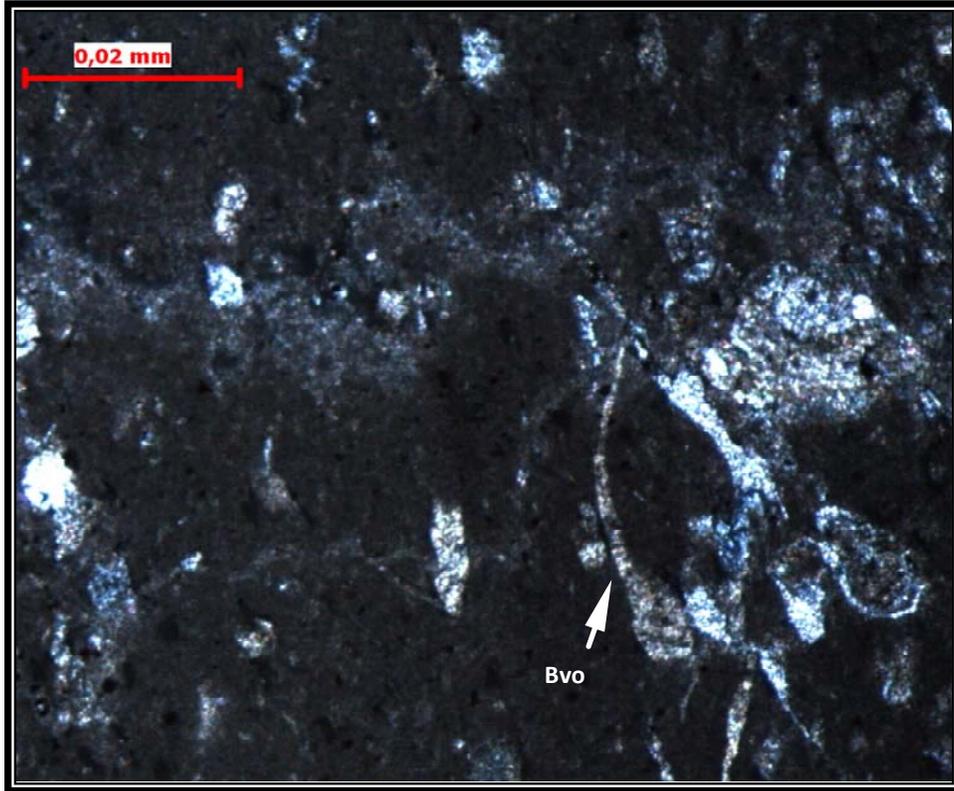
Muestra +NF3. *Wakestone Bioclástico/Biomicrita* (Figura 25).

Lámina constituida por un 30% de componentes biogénicos, mayormente consta de microfósiles bentónicos y planctónicos, con un pequeño horizonte bioclástico en el que predominan calciesferas y bivalvos desarticulados; así como algunos óxidos, los cuales se encuentran englobadas en una matriz micrítica (70%) de color café a café pardo, con laminación ondulada; que en partes toma un aspecto biolaminar, soportada en una fábrica de tipo “mud-supported”, con algunas microfracturas selladas por esparita.

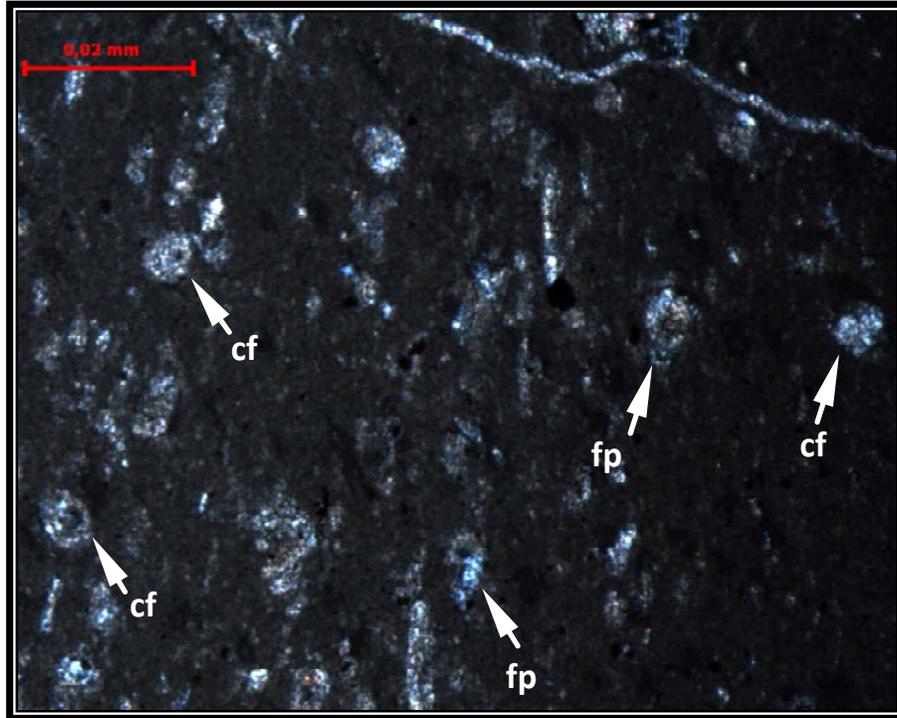
De acuerdo con la clasificación de Wilson y Flügel, microfacialmente la muestra se ubica en el tipo SMF-1, con zonas FZ-1 (Cuenca, zonas de aguas profundas con sedimentación muy lenta); SMF-2 con zonas FZ-1 y FZ-2 (Plataforma abierta en la zona inferior del talud), FZ-3 (Zona más profunda del margen de plataforma). En conjunto, estas facies presentan un grado de luminosidad que va de moderado a bajo y un índice de energía moderado a bajo.



a



b



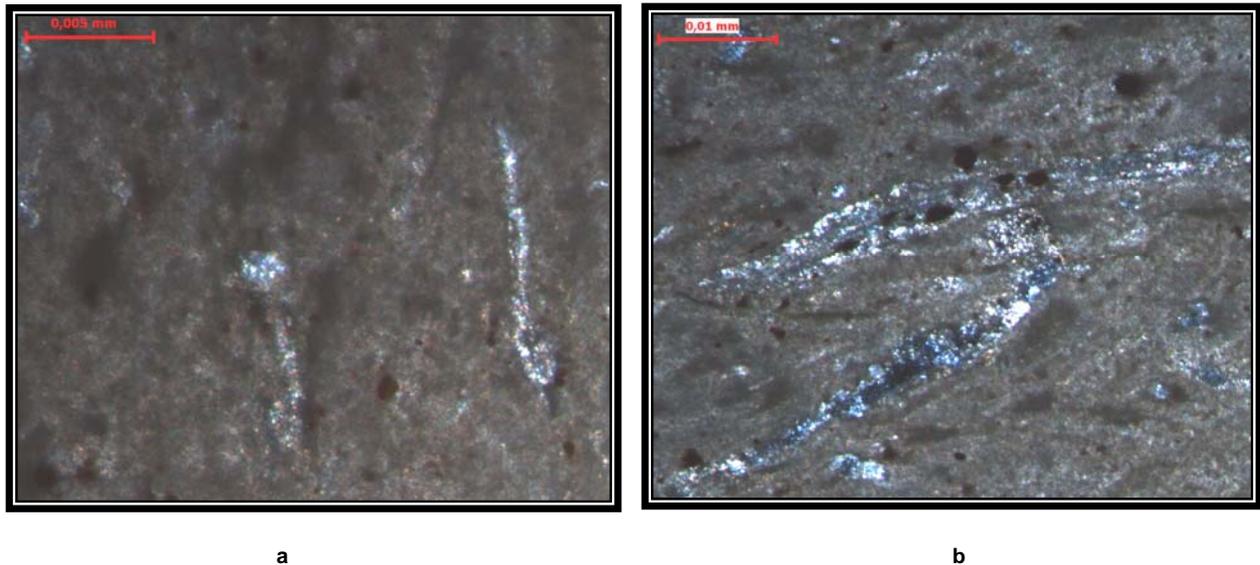
c

Figura 25. Wakestone Bioclástico/Biomicrita. a. Foraminíferos planctónicos; b. Bivalvo articulado (Bvo) flotando en una matriz micrítica con bioclastos; c. Calciesferas (cf) y foraminíferos planctónicos (fp).

Muestra +NF1. *Mudstone Bioclástico/Biomicrocristalino* (Figura 26).

Muestra compuesta por un 10% de componentes bioclásticos menores a 2mm; en su mayoría, constituida por pedacería de valvas de bivalvo con lamelas fibrosas reemplazadas en CaCO_3 , braquiópodos y esporádicos foraminíferos planctónicos y bentónicos. Presenta además escudos de equinodermo que manifiestan extinción en un solo plano, posibles radiolarios y óxidos de hierro (15%); los cuales se encuentran flotando en una matriz micrítica (75%), de color café a café pardo, de tipo laminar ondulante a plegada; que en partes, toma el aspecto de montículos semejantes a los burrows. El empaquetamiento de la fábrica es de tipo “mud-supported”.

De acuerdo con el contenido micrítico, porcentaje y estado de los componentes, ésta muestra se ubica en un ambiente sedimentario de moderada a baja energía así como de moderada a baja luminosidad. Los bioclastos de bivalvos, braquiópodos y equinodermos revelan que la proveniencia de este horizonte es de agua relativamente somera a profunda; no obstante, a pesar de su escasez, los foraminíferos indican un ambiente de agua profunda.

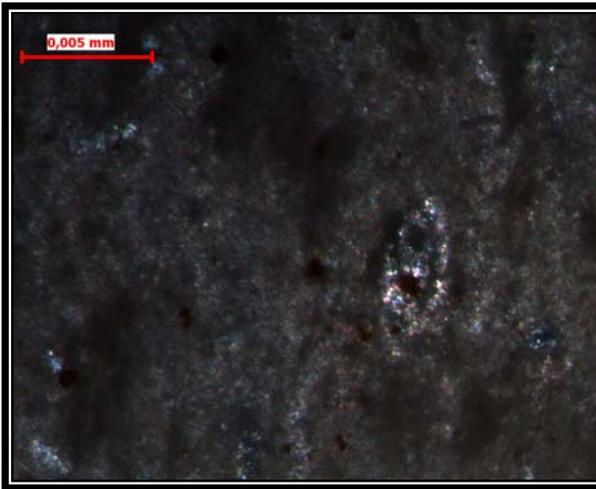




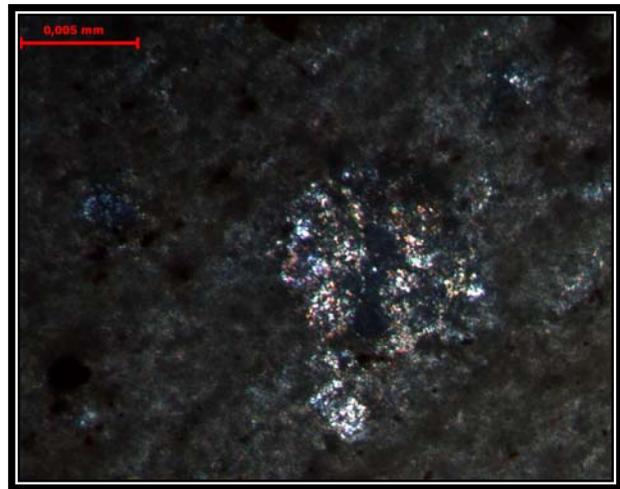
c



d



e



f

Figura 26. Mudstone Bioclástico/Biomicro. a y b. Valvas desarticuladas de un bivalvo; c. Valva desarticulada de un braquiópodo; d. Escudo de un equinodermo; e. Foraminífero bentónico fusiforme; f. Cuerpo esférico de un posible radiolario.

Muestra -NF1. *Mudstone Bioclástico/Biomicrocristalino* (Figura 27).

Lámina constituida por un 10% de componentes biógenos, algunos con tamaños menores a 2mm; los cuales están conformados por bioclastos de gasterópodo y bivalvo con lamelas fibrosas, foraminíferos planctónicos y bentónicos de testa fusiforme. Presenta una matriz micrítica (90%) de color café a café pardo con tonalidades verdosas, de textura lodosa con laminación ondulada y una fábrica de tipo “mud-supported”.

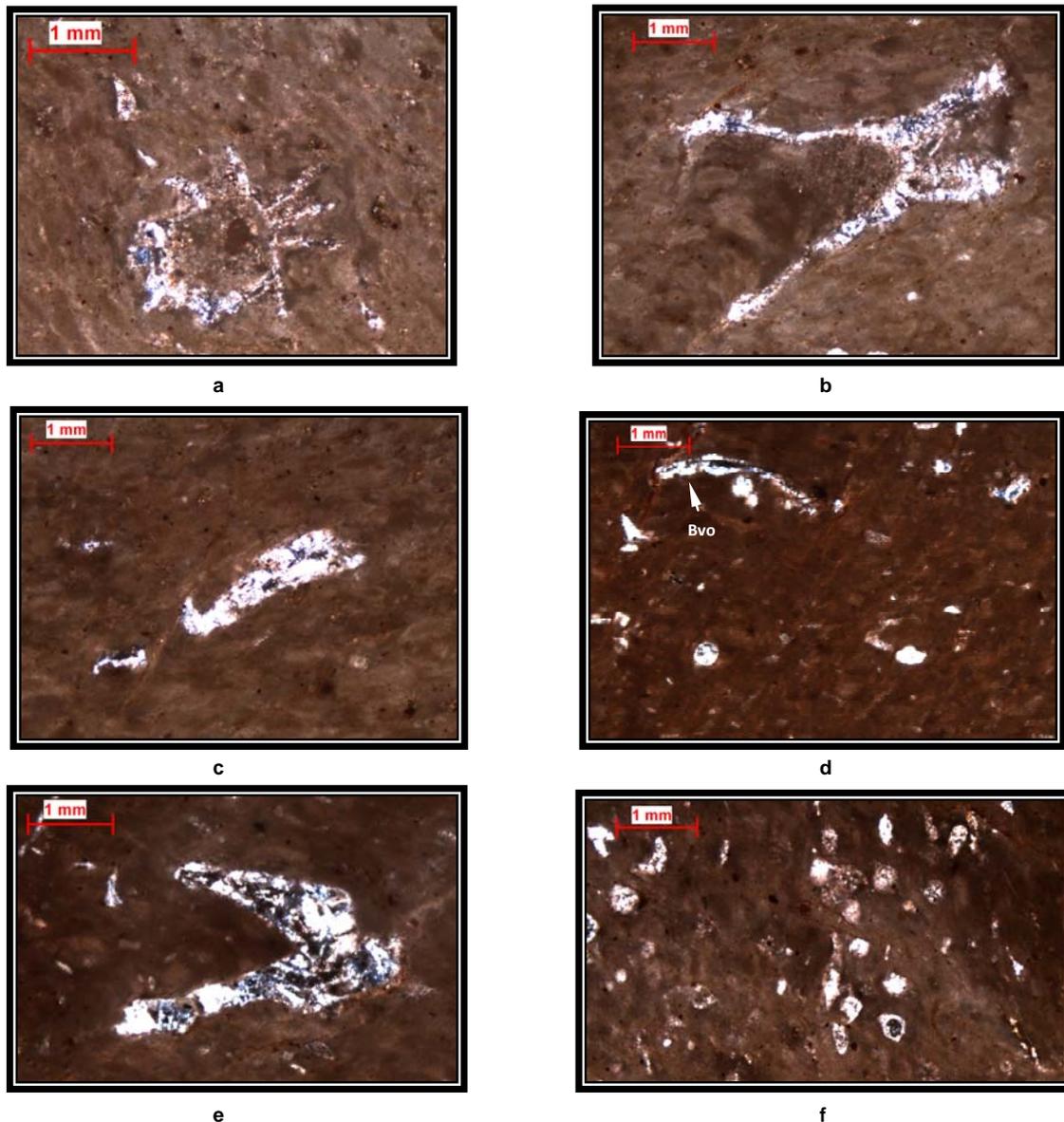
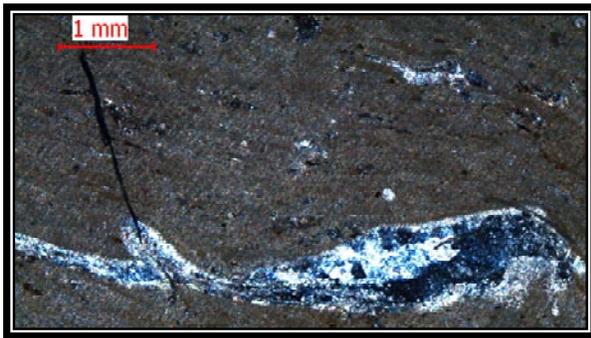


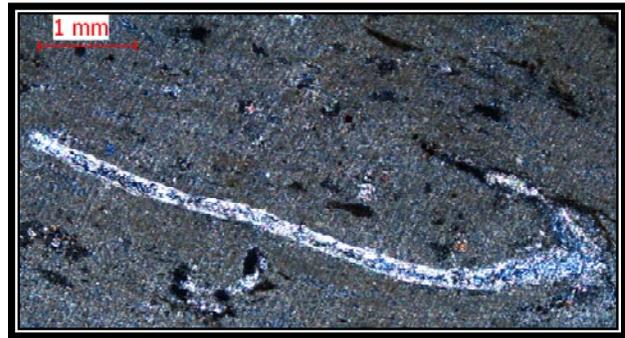
Figura 27. *Mudstone Bioclástico/Biomicrocristalino*. a. Sección transversal y lateral de un gasterópodo; b. Fragmento calcáreo indefinido; c y d. Valvas de bivalvo (Bvo); e. Fragmento calcáreo indefinido; f. Foraminíferos planctónicos.

Muestra –NF2. *Mudstone bioclástico/Biomicrita* (Figura 28).

Lámina constituida por un 10% de componentes biógenos, en su mayoría conformados por bioclastos de bivalvo, braquiópodo y gasterópodo mayores a 2mm, con escasos foraminíferos bentónicos y esporádicos foraminíferos planctónicos menores a 2mm; los cuales nadan en una matriz micrítica (90%) de color café a gris verdoso, de textura lodosa con laminación ondular, soportados en una fábrica de tipo “mud-supported” con algunas microfracturas selladas por material calcáreo.



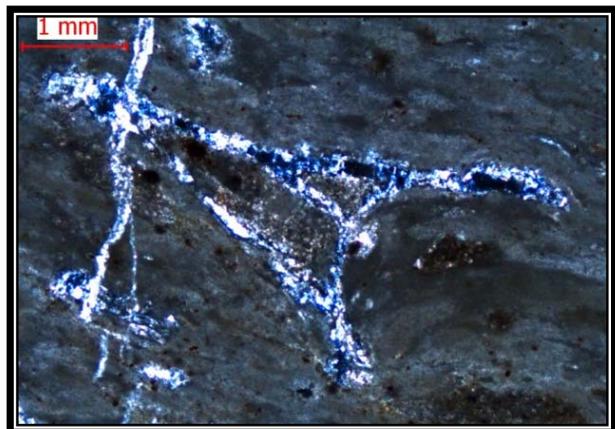
a



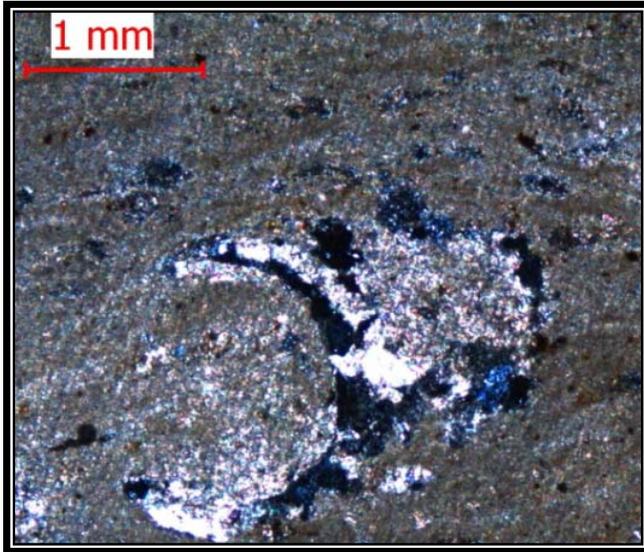
b



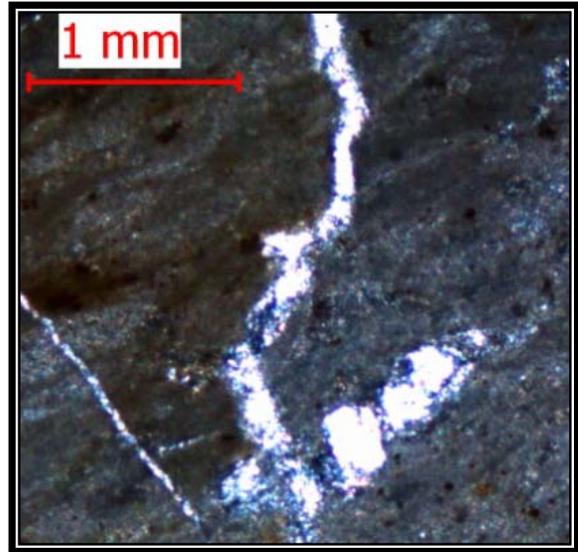
c



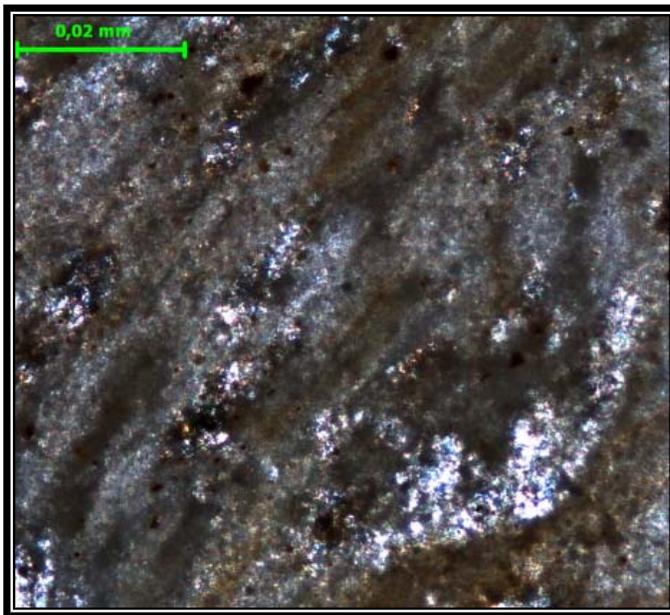
d



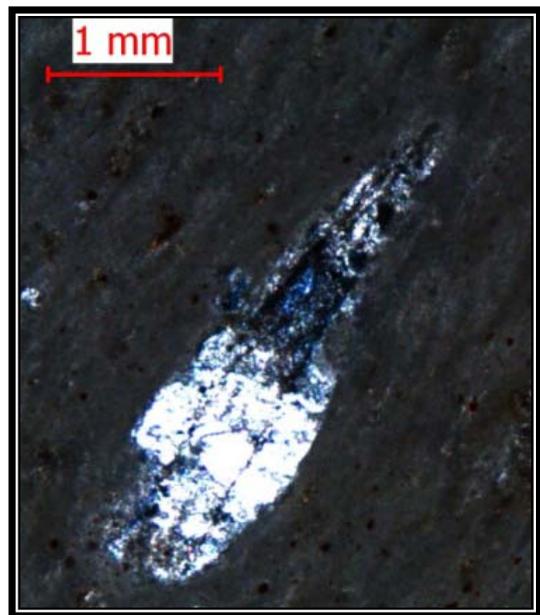
e



f



g



h

Figura 28. Mudstone Bioclástico/Biomicro. a y b. Microestructura de la concha de un bivalvo; c. Braquiópodo; d y e. Sección transversa y oblicuo-lateral en dos gasterópodos; f y g. Foraminífero bentónico; h. Sección transversal de un posible molar de pez.

Muestra -NF3. Calcarenita dolomitizada/Dolorudita (Figura 29).

Arenisca calcárea de grano fino con textura granuda de tipo inequigranular, ligeramente dolomitizada, compuesta por un 85% de componentes calcáreos, con algunos parches de micrita (15%). Con cristales de calcita que presentan extinción radial, dolomita de extinción ligeramente ondulante, y esporádicos cristales de espinela con poca a mínima birrefringencia bajo luz natural. Los carbonatos están dispuestos en forma de mosaicos, con contactos suturados y bordes difusos que en partes; debido a la recristalización, tienen aspecto de fantasmas, y en otras, tienen aspecto de drusa. En las zonas de contacto tangencial los cristales presentan un empaquetamiento de tipo “grain-supported”.

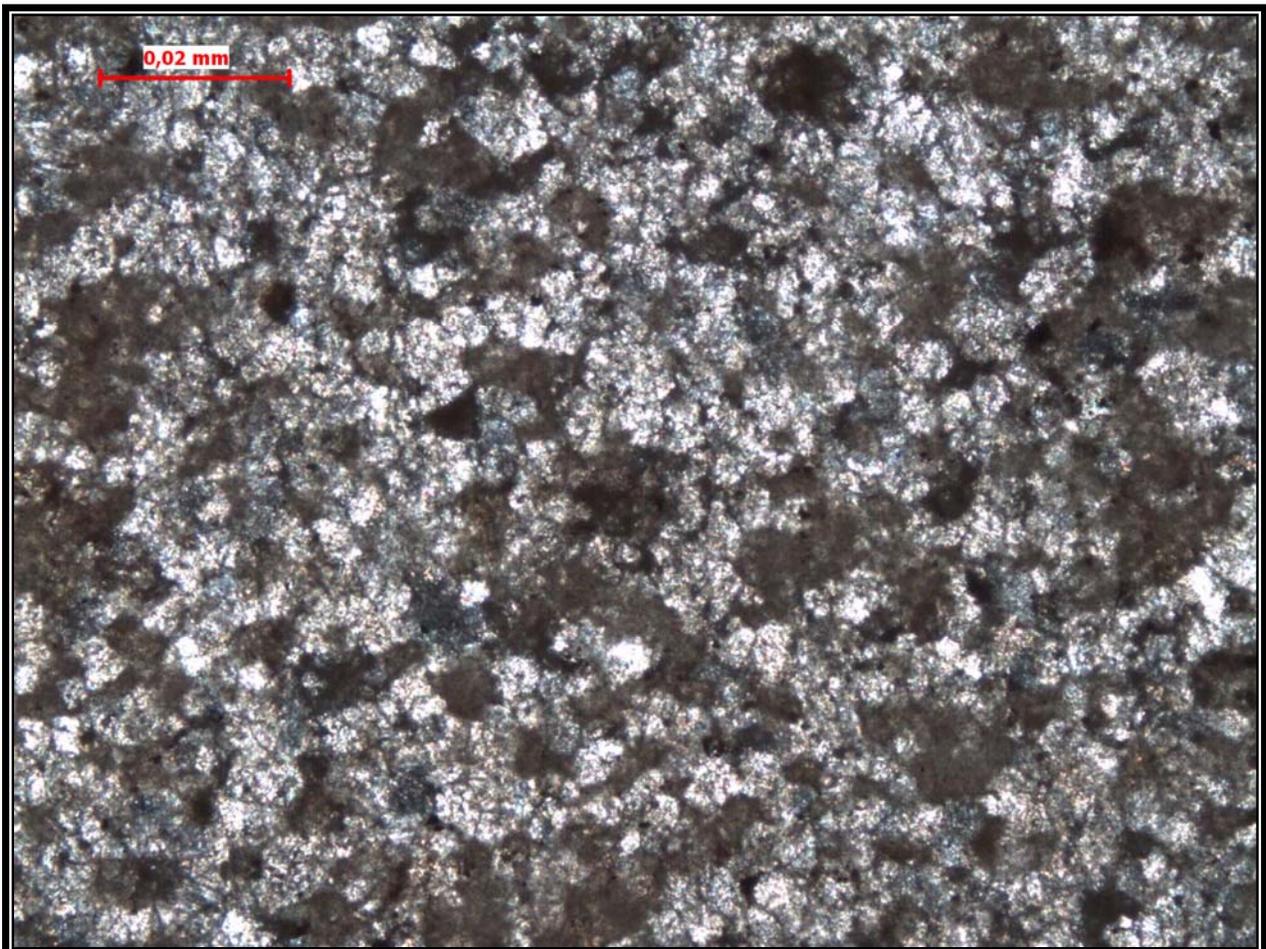
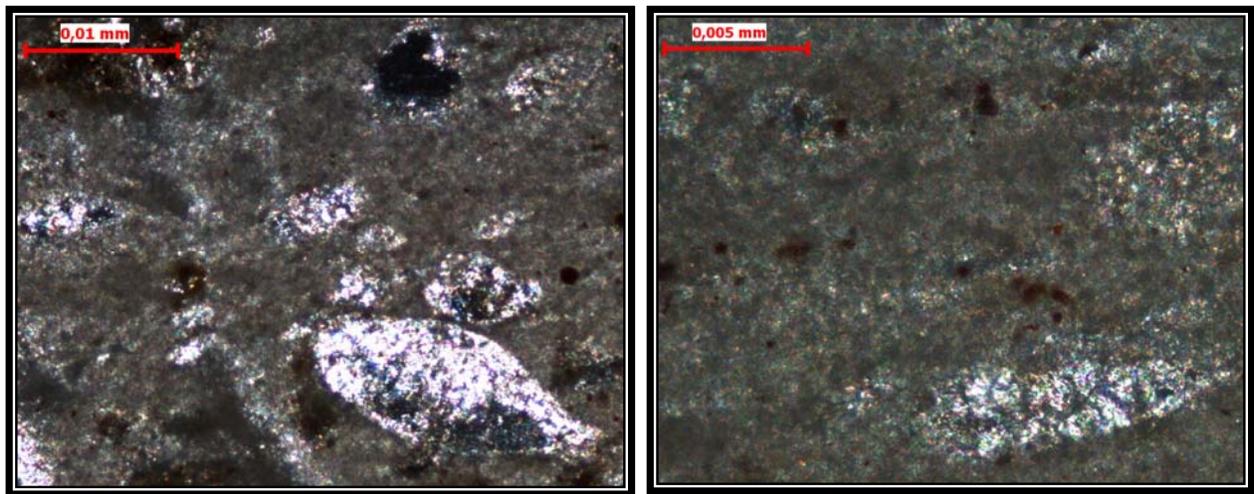


Figura 29. Calcarenita dolomitizada/Dolorudita.

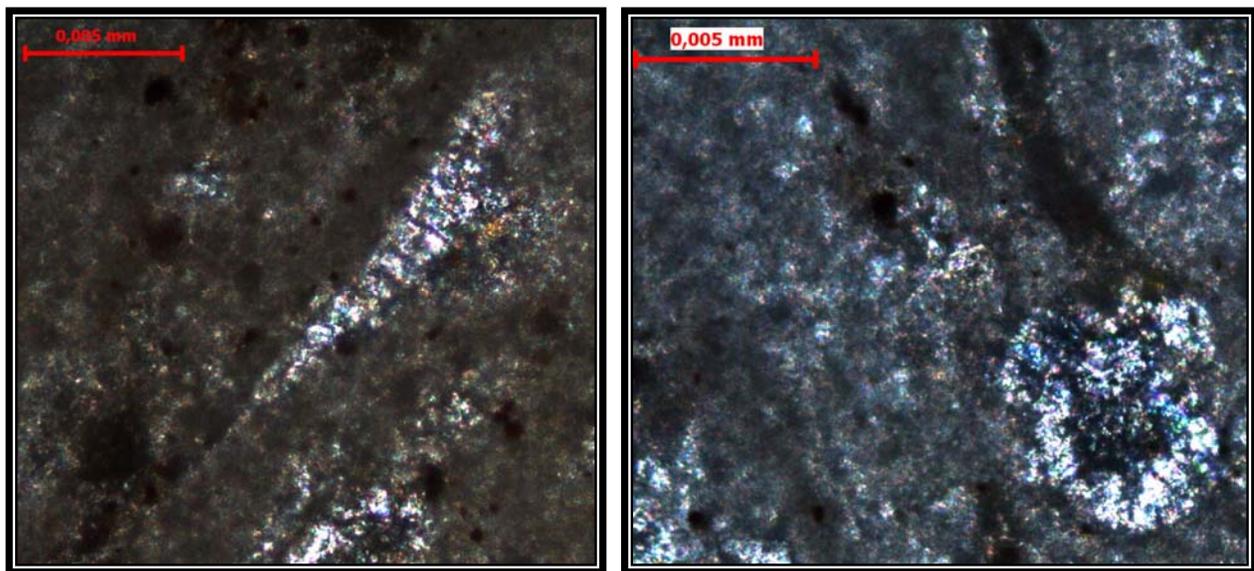
Muestra -NF4. *Mudstone de foraminíferos/Biomicrita* (Figura 30).

Lámina constituida por un 15% de componentes biógenos, conformada por foraminíferos bentónicos y planctónicos (textuláridos, globigerinas), ostrácodos pelágicos y calciesféridos, todos menores a 2mm, con escasos bioclastos de bivalvo, esporádicas espículas del tipo monoaxona; así como una diminuta cantidad de cristales aislados de dolomita y microfracturas selladas por calcita. Todos los componentes se encuentran dispuestos en una matriz micrítica (85%) de color café, con laminación ondulada y textura lodosa, y un empaquetamiento de tipo “mud-supported”



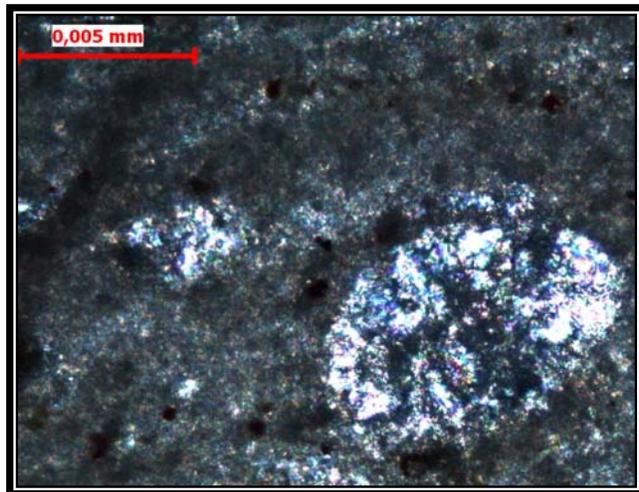
a

b

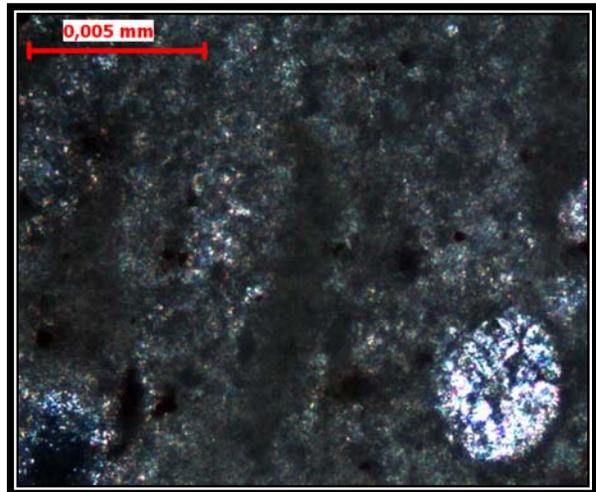


c

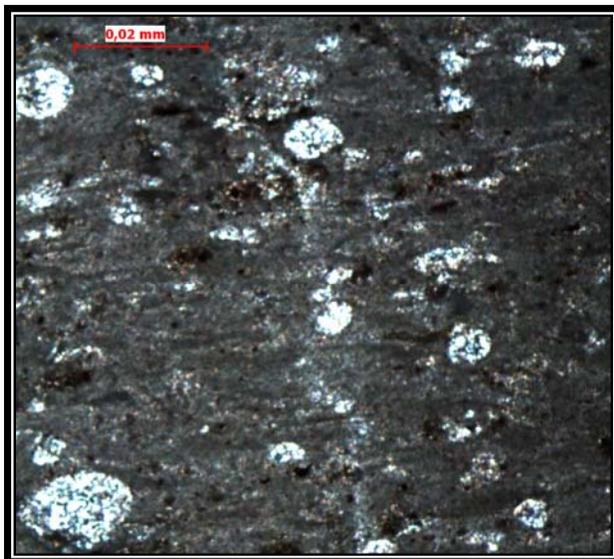
d



e



f



g



h

Figura 30. Mudstone de foraminíferos/Biomicrita. Microfósiles bentónicos: (a) unilocular, (b) biserial, (c) uniserial; Microfósil Planctónico: (d) globigerina, (e, f) ostrácodos; (g) globigerinoides y calciesféridos; (h) Bioclastos con valvas de bivalvo (Bvo).

Muestra -NF5. Calcarenita dolomitizada/Dolorudita (Figura 31).

Arenisca calcárea de grano fino, pobremente clasificada, con textura granuda de tipo inequigranular, recristalizada, constituida por un 85% de fragmentos calcáreos, con escaso cementante esparítico y parches de micrita (15%), cristales de calcita dispuestos en forma de mosaico así como cristales alargados de tipo radial fibroso, los cuales muestran contactos suturados con bordes difusos y extinción radial a ondulosa respectivamente. Además contiene cristales rómbicos de dolomita angulosos a subangulosos con extinción ligeramente ondulante y cuarzo monocristalino de extinción simiondulante. Empaquetamiento de tipo “grain-supported”.

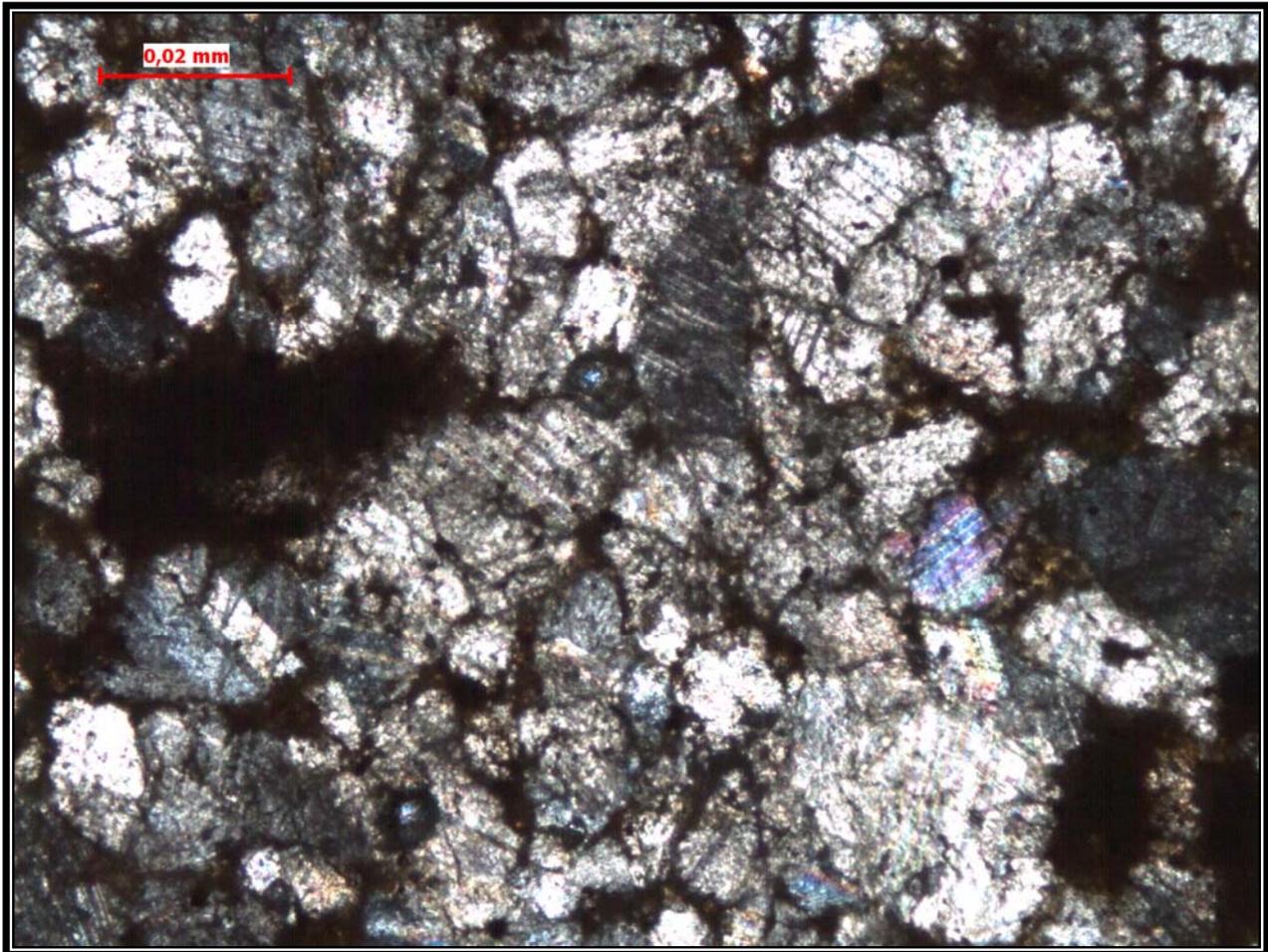
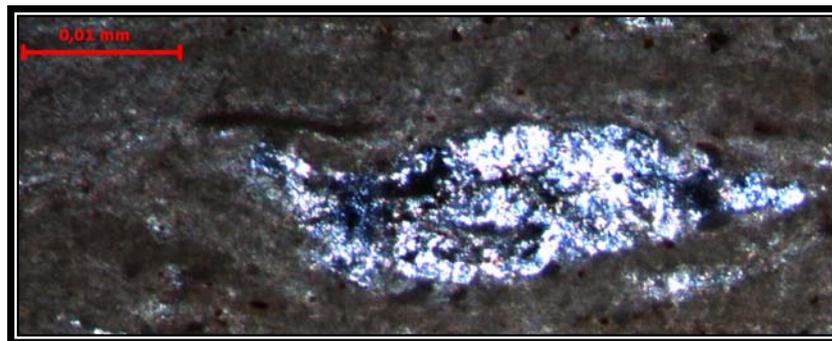


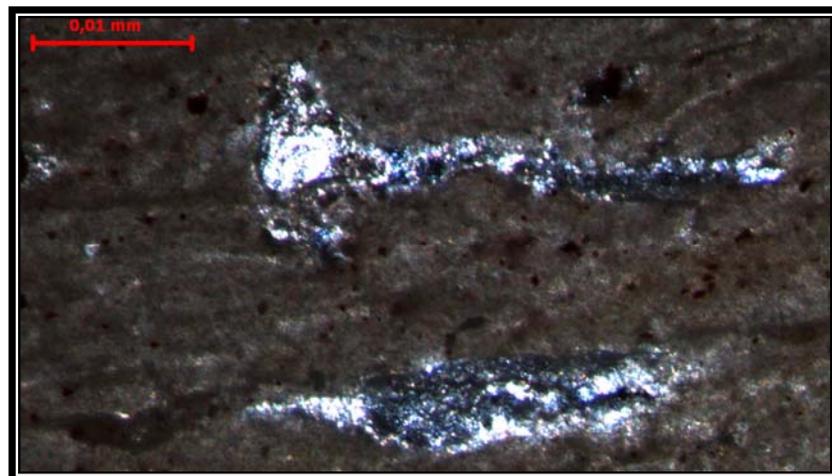
Figura 31. Calcarenita ligeramente dolomitizada/Dolorudita.

Muestra -NF12. *Mudstone Bioclástico/Biomicrita* (Figura 32).

Muestra compuesta por más del 7% de componentes bioclásticos, todos menores a 2 mm; mayormente constituidos por bivalvos con lamelas fibrosas reemplazadas en CaCO_3 y esporádicos protozoarios de clase foraminífera de tipo bentónico. Los cuales se encuentran flotando en una matriz micrítica (70%), con laminación ondulada que en partes manifiesta una de tendencia planar. Empaquetamiento de la fábrica de tipo “mud-supported” con masa básica de tipo esparítica (3%); la cual, se encuentra dispuesta en forma de parches o mosaicos con bordes rectos a ligeramente difusos. Contiene algunos óxidos (10%) y microfracturas (10%) orientadas perpendicularmente en el sentido de la laminación. Los bioclastos se hallan parcial a totalmente reemplazados por esparita, donde aparentemente ninguno manifiesta en su exosqueleto un desarrollo en forma de drusa, el ambiente de depósito desarrollado es bentónico de facie profunda con ligera a baja energía y mala luminosidad.



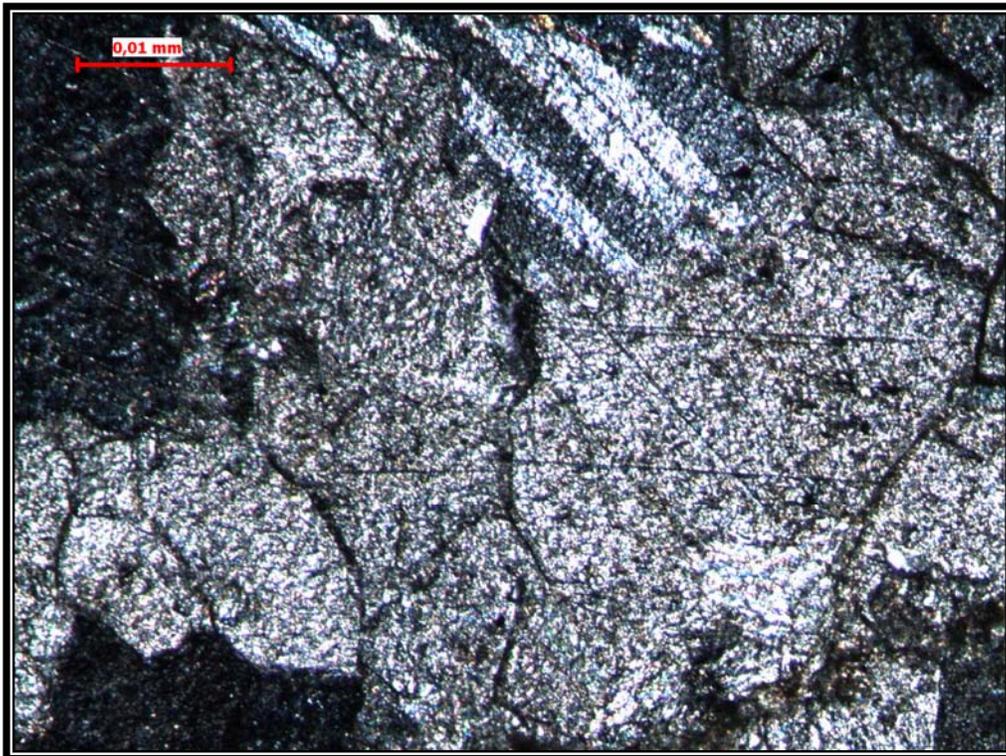
a



b



c



d

Figura 32. Mudstone Bioclástico/Biomicrita. a. Foraminífero bentónico; b. Valvas de un braquiópodo; c. Microfractura sellada por material calcáreo; d. Mosaicos de carbonatos dentro de una microfractura con bordes y contactos rectos a ligeramente difusos o suturados.

I.III.IV.- Análisis Facial y Microfacial Stándar de Wilson.

Éste trabajo es el resultado de una diagnosis descriptiva en la que se examinan las características litológicas de depósito para la roca muestreada (Formación La Caja); es decir, es un estudio en el que se considera el tipo de granulometría y empaquetamiento de los clastos (fábrica y textura), así como los microfósiles contenidos y orientación de los mismos en las capas o estratos donde están incluidos (bioestratigrafía). Por lo tanto, mediante este análisis, se consideran los datos sedimentológicos y paleontológicos presentes en lámina delgada, los cuales son importantes para la obtención en el origen de los sedimentos; interpretación y reconstrucción del ambiente de depósito.

En el presente trabajo la caracterización a seguir a las 29 muestras laminadas está basada principalmente en las características de su fábrica (masa básica y componentes); así como en la clasificación composicional de Folk, 1959, 1962 (Figura 33), y la clasificación textural para las rocas carbonatadas de Dunham, 1962 (Figura 34). Adicionalmente se presenta un análisis facial (ZF) y microfacial (SMF) de acuerdo con los estándares de clasificación propuestos por Flügel, 1982 y Wilson, 1975 que está idealizado para una plataforma carbonatada (Figura 35).

		Calizas y Dolomías con textura deposicional reconocible Calizas, calizas dolomitizadas y dolomías primarias				Sin texta deposicional reconocible. Dolomías de reemplazamiento y Calizas recristalizadas									
		I		II		III		IV		V					
		<10% aloquemos				>10% aloquemos		Rocas bioconstruidas sin perturbación		Con fantasmas de aloquemos o aloquemos evidentes		Sin fantasmas			
		esparita>micrita		micrita>esparita		1-10% aloquemos								<1% aloquemos	
Composicion Volumetrica de aloquemos	>25% Intraclastos	intraesparita		intramicrita		Aloquemoa más abundanyes	Intraclastos Micrita con intraclastos		Micrita o si tiene parches de esparita Dismicrita	Biolitita	Intradolomita		Dolomia afanítica		
	>25% Ooides	oesparita		oomicrita			Ooides Micrita con ooides				Oodolomita		Dolomia grano muy fino		
	<25% Intraclastos	<25% Ooides Proporcion volumetrica (bioclastos/peloides)	> 3/1		bioesparita		Bioclastos Micrita fosilifera				Biodolomita		Dolomia grano fino		
			3/1 a 1/3		biopesparita		Peloides Micrita con peloides				Peldolomia		Dolomia grano medio		
			< 1/3		pelesparita		pelmicrita				etc.		Dolomia grano grueso		

Figura 33. Tabla de clasificación para las rocas carbonatadas propuesta Folk (1959, 1962).

Clasificación de Dunham (1962)					
Textura original reconocible					
Componentes originales no enlazados durante el depósito				Componentes originales enlazados	CARBONATOS CRISTALINOS
Con matriz (carbonato de tamaño arcilla o limo fino)			Sin matriz y grano sostenido		
Sostenida por la matriz		Granosostenida			
Menos de 10% de granos	Menos de 10% de granos				
MUDSTONE	WACKSTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE	BOUNDSTONE	
					

Figura 34. Tabla de clasificación para rocas carbonatadas propuesta por Dunham, (1962) y modificado de Folk (1962).

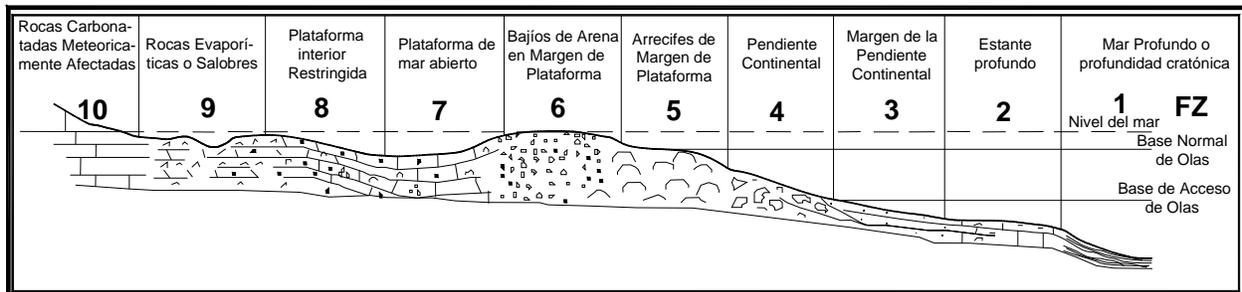


Figura 35. Plataforma carbonatada con bordes. Diagrama estándar de Zonas de Facies (FZ) en el modelo modificado de Wilson.

Siguiendo los lineamientos en el diagrama para los estándares de zonas de facies (ZF) y los tipos de estándares microfaciales (SMF) idealizados para una plataforma carbonatada, las muestras analizadas se ubican en una facie de predominancia que oscila entre los ambientes de depósito de cuenca de mar profundo a plataforma de mar abierto, situados en una zona de tipo “FZ 1” (Figura 35). Con los tipos estándares microfaciales SMF-1 (Wackestone con matriz de micrita) y SMF-3 (Limo pelágico, Mudstone y Wackestone con abundantes microfósiles pelágicos. Algunos subtipos diferentes son los grupos de organismos planctónicos) [Figura 36].

Gracias a este modelo la determinación de microfacies idealizada para el Jurásico Tardío (Tithoniano–Kimmeridgiano) a la que corresponde la Formación la Caja,

se describe como una cuenca y estante profundo, mar profundo a una margen de plataforma de carbonatos (FZ1A).

Ambientes de deposición generalizados, cinturones de facies y tipos de Microfacies Estándar

1	2	3	4	5	6	7	8	9	FACIES
CUENCA	MAR ABIERTO (NERÍTICO)	MARGEN PROFUNDA	LADERA SUMERGIDA	BORDE DE PLATAFORMA CRECIMIENTO DE ORGANISMOS	BORDE DE PLATAFORMA SEPARADO	PLATAFORMA ABIERTA (LAGUNA)	PLATAFORMA RESTRINGIDA	PLATAFORMA EVAPORÍTICA (SABKHA)	AMBIENTE
1,2,3	2, 8, 9, 10	2, 3, 4	4, 5, 6	7, 11, 12	11,12,13,14,15	8,9,10,16,17,18	16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24	20, 23	TIPOS DE SMF
Lutitas, calizas	Lutitas Fosilíferas con menos siliciclastos	Calizas de grano fino gradado a no gradado con bloques alóctonos	Calizas de grano fino a grueso con brechas y bloques alóctonos	Boundstone (Framestone, bindstone, baffestone)	Carbonatos y areniscas separados	Carbonatos arenosos wackestone-mudstone; biohermas siliciclastos finos	Wackestone con bioclastos, litoclastos y bioclastos arenosos, carbonatos mudstone	Dolomita nodular y anhidrita; posibles evaporitas laminadas	FACIES MAYORES
Lutitas negras, limolita, capas delgadas de carbonatos mudstone; alguna laminación a escala en mm, estratificación rítmica y estratificación cruzada	Calizas (bioclastos y algunos fósiles, calcilimolita); interestratificación de margas bioturbadas; capas onduladas a nodulares; esquistos o limolitas interestratificadas	Carbonatos mudstone calcilimolíticos; silíceo; masivo; lentes de capas gradadas, litoclastos, bloques alóctonos; estratificación rítmica, esquistos o limos interestratificados	Carbonatos brechados limolíticos, bioclastos de calizas wackestone-packstone; clastos de varias medidas; estructuras de deslizamiento, estratificación inclinada, bloques alóctonos, biohermas; lutitas-limos interestratificados	Calizas masivas, dolomita; boundstone y bolsas de grainstone-packstone; estructuras masivas orgánicas o estructuras abiertas con cavidades techadas; no hay siliciclastos	Calcarenitas (bien clasificadas), con ooides, granos esqueléticos, etc; dolomita mezclada con arenas cuarzosas; estratificación cruzada	Varios tipos de carbonatos (grainstone a mudstone); huellas de bioturbación comunes; capas interestratificadas de siliciclastos	Dolomitas y calizas dolomíticas; mudstone y grainstone con pellets, en partes laminados; wackestone con intraclastos gruesos; texturas de "birdseye", estromatolitos laminados -mm algunas capas gradadas; siliciclastos interestratificados	Dolomita y anhidrita, nodular; laminación irregular, caliche; pueden existir capas sedimentarias rojizas; los siliciclastos pueden ser de importancia	LITOLOGÍA
Exclusivamente faunas pelágicas y bentónicas; local y abundantemente en capas planas	Fauna con concha muy diversificada, incluyendo fauna que vive dentro de los sedimentos marnos y fuera de ellos	Fauna de agua muy superficial redepositada; algunas faunas autóctonas y pelágicas	Colonias de organismos enteros, bioclastos escombros redepositados de las facies 5	Estructuras mayores de colonias construidas con formas ramificadas en bolsones; crecimientos determinados por la energía del agua	Organismos conocidos, gastados derivados de las facies 4 y 5; pocos organismos autóctonos así como gasterópodos, foraminíferos, dasycladadas	Moluscos, esponjas, foraminíferos, abundantes algas, fauna de mar abierto (Equinodermos, cefalópodos, etc.) escazamente parches de arrecife	Fauna muy limitada, comunmente gasterópodos, algas, algunos foraminíferos (ej. milióidos y ostrácodos)	Estromatolitos, algunas faunas no autóctonas	FÓSILES

Fuente: modificado de Wilson, J. L., 1975, carbonate facies in geology historic. Fig. 11-4, p. 26-27, reimpresso por permiso de Springer-Verlag. New York, Traducido de Flügel, E., 2004, Microfacies of Carbonates rocks. Análisis, interpretation and application

Figura 36. Ambientes de deposición generalizados, cinturones de facies y tipos de microfacies estándar, tomada de Flügel (2004).

Escenario: Por debajo de la base de afectación de las olas, en una zona disfótica profunda donde la profundidad fluctúa desde algunos cientos hasta miles de metros por debajo del nivel del mar.

Sedimentos: El ambiente de sedimentación presenta una serie completa de sedimentos correspondientes a una cuenca de mar profundo y un posible paleocanal que incluye arcillas pelágicas, fango carbonatado y lodo hemipelágico. Próxima a terminación de la zona de talud (base de la plataforma) con poca mezcla de material pelágico y derivados de plataforma (arenas, fangos y lodos peri-plataforma).

La estratificación presente es sumamente homogénea, de capas delgadas. Color beige a gris claro con variaciones de café grisáceo a rojizo y violáceo, que depende principalmente de las condiciones de oxidación y reducción, así como del contenido de materia orgánica que da un tono oscuro si existe un alto porcentaje de ésta.

Biota: La fauna fósil que presenta las condiciones anóxicas comunes en esta profundidad permite la actividad de organismos reptoires que originan huellas de bioturbación, presente en varias de las capas del área de trabajo (Figura 37). Predominantemente plancton (foraminíferos pelágicos, calciesferas y radiolarios), ensamblajes típicos de océanos abiertos, asociados con fósiles bentónicos autóctonos (bivalvos y braquiópodos) y nectónicos (Amonites y belemnites).

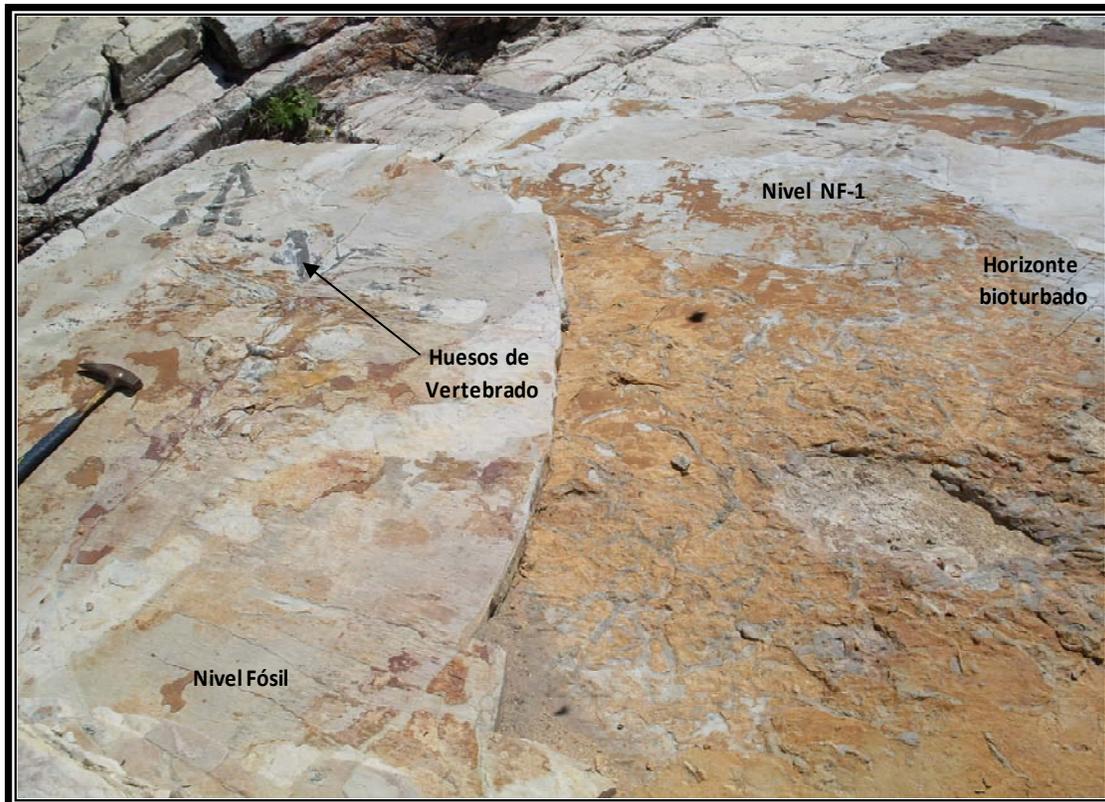


Figura 37. Rasgos de bioturbación por organismos reptoires en el nivel inferior abajo del horizonte donde se localizó el vertebrado fósil.

Litofacias: Predominancia de Mudstone y Wackestone pelágico (Figura 38), ambos con una similitud en su fábrica, revelando una textura no clástica y un empaquetamiento de tipo “mud-supported”, además de areniscas parcialmente dolomitizadas con un empaquetamiento de tipo “grain-supported”.

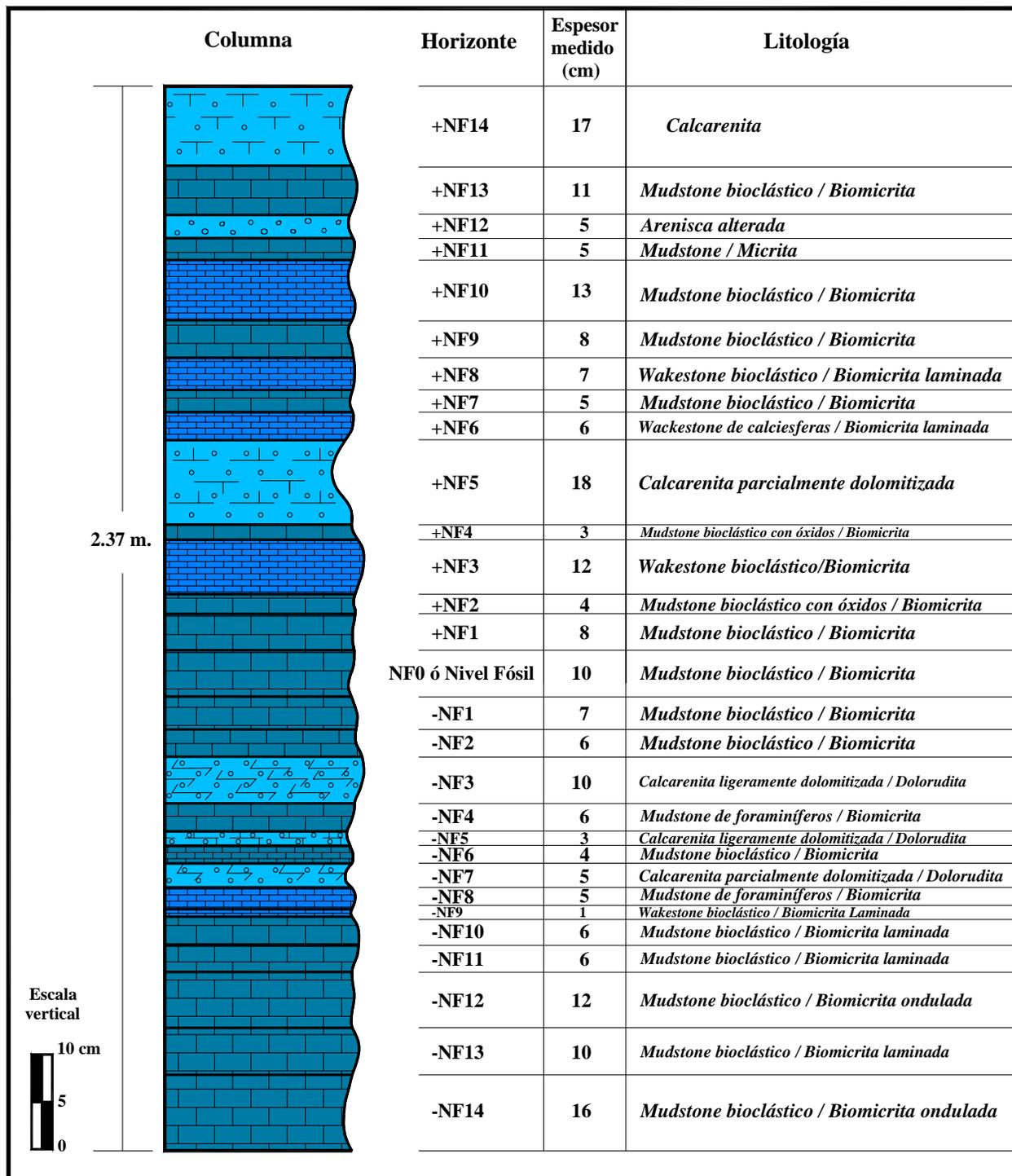


Figura 38. Columna geológica local para el área de estudio en la Formación La Caja.

II.- PALEOPROSPECCIÓN, LIMPIEZA Y CURACIÓN DE MATERIAL PALEONTOLÓGICO.

II.I.- Metodología Propuesta.

De acuerdo con Flores-Castillo (2007), en este apartado se dará seguimiento a la metodología propuesta de paleoprospección; la cual, comprende diversas etapas: a). recopilación bibliográfica; b). trabajo de campo: introducción, prospección geológica-paleontológica, metodología de levantamiento paleontológico, extracción, protección y transporte del material paleontológico.

II.II.- Recopilación Bibliográfica. (La información bibliográfica consultada concerniente a este capítulo, se menciona en la página 12).

II.III.- Trabajo de Campo.

II.III.I.- Introducción.

El vertebrado en estudio se colectó en dos piezas procedentes de un total de 29 niveles de roca pertenecientes a la Formación La Caja, estos niveles incluyen las lajas donde fosilizó el ejemplar y los horizontes suprayacentes e infrayacentes al mismo.

Gracias al trabajo de limpieza se tiene que el material esquelético rescatado constituye la porción craneana de un osteíctio, y se calcula que la mayor parte de la estructura ósea que conforma el aparato endoesquelético se erosionó en el sitio.

Para que el material en estudio adquiera carácter científico, por normatividad paleontológica siempre es importante que en todo trabajo de esta naturaleza, se de seguimiento al proceso de investigación, de lo contrario taxonómicamente el organismo no adquirirá este valor. En base a esta consideración, a continuación se describen las etapas correspondientes a dicho proceso:

II.III.II.- Prospección geológica-paleontológica.

- Trabajo de gabinete y campo. Se realizó una evaluación cartográfica del área de estudio, posteriormente se planeo un caminamiento para localizar el material de trabajo (Figura 39).



Figura 39. Sección de campo en la que se prospecta el área sujeta a estudio.

- Ubicación del yacimiento. El área de trabajo donde se prospectó el material forma parte del cauce de un arroyo encañonado (Figura 40), sistemáticamente el primer registro en la ubicación del fósil consistió en apuntar las coordenadas del punto geográfico (N 0281032, W 2575832) en la carta geológico–minera y geoquímica de la hoja Presa de Santa Gertrudis F 14 A-33, escala 1: 50 000, editada por el COREMI; así mismo, con ayuda de un geoposicionador satelital (GPS) y una libreta de tránsito se respaldaron estos datos. Desde el punto de vista paleontológico, este simple procedimiento constituye la base de una serie de aspectos paleontológicos que en este estudio dan valor científico a la investigación.



Figura 40. Cauce del arroyo San Nicolás en donde se encontraba el fósil de estudio.

- Observación y delimitación del área de trabajo. Meticulosamente se delimitó la zona prospectada obteniendo una dimensión del yacimiento de aproximadamente 6.50 m^2 (Figura 41); conjuntamente, en una libreta de tránsito y hojas de calca se registraron los detalles que el observador consideró trascendentales para el levantamiento tafonómico, dichas consideraciones son el estrato de proveniencia, grado de fracturamiento y preservación del organismo, características del sedimento, estado de conservación, entre otras (Figura 42).
- Planeación de extracción. La extracción del material fósil se llevó a cabo durante el mes de septiembre del 2009, fecha en la que las condiciones meteorológicas del área (lluvia) no interfirieron durante el proceso de rescate, aspecto relevante ya que el fósil se localizó en el cauce de un arroyo.



Figura 41. Delimitado paleontológico-sedimentológico del área de interés.



a



b

Figura 42. Calca *in-situ* para la obtención de algunos detalles morfológicos. a. En los huesos del vertebrado; b. Protección de impresiones para invertebrados fósiles (amonites).

II.III.III.- Metodología de levantamiento paleontológico. Previo a la colecta del ejemplar, se procedió a realizar el siguiente procedimiento:

- Evidenciado de investigación en campo. Esta fase comprendió la grabación fílmica y toma de fotografías, mediante la captura *in-situ* de imágenes del organismo, donde las reproducciones se captaron desde varios ángulos (Figura 43), usando para ello un objeto de referencia escalar proporcionando una graduación objetiva de las dimensiones del fósil en relación con la roca que lo contiene.



Figura 43. Evidenciado de un levantamiento paleontológico por captura fotográfica.

- Elaboración de un transecto. Con objeto de conservar al máximo los detalles de campo, se cuadrículó uniformemente el área de estudio con estacas y una hilada orientada hacia el norte geográfico, similar a los levantamientos antropológicos cuando se delimita un área de trabajo (Figura 44).



a



b

Figura 44. Elección y elaboración de un transecto de tipo cuadricular. a. Delimitado general siempre equidistante en el interior de cada enrejado; b. Medición equidistante entre cada estaca o componente del polígono.

- Elaboración de un bosquejo en planta para el yacimiento (Figura 45).
- Descripción litológica y relación estratigráfica (Figura 46). De acuerdo con el código estratigráfico norteamericano, 1983, para poder clasificar una unidad geológica, es

necesario registrar las características definidas de la roca en estudio, tomando en cuenta las propiedades líticas que comprenden la composición, textura, fósiles incluidos, etc., reconociendo además, la relación estratigráfica existente entre los miembros suprayacentes e infrayacentes de la unidad. Para la formación estudiada (La Caja), se reconoció una alternancia de mudstone-wackestone con calcarenitas equigranulares de grano fino a medio (ver descripción litológica, páginas 33-36).



Figura 45. Fabricación de un bosquejo visto en planta. A. Construcción del dibujo de acuerdo con la perspectiva del observador (proyección oblicuo-lateral); B. Panorámica general del observador; C. Dibujo derivado de la proyección oblicuo-lateral.



Figura 46. Descripción litológica de campo.

- Determinación y marcación de la roca sobre bloques o estratos (Figura 47). Este proceso consistió en el señalamiento de los niveles de roca presentes en el yacimiento (arriba y/o debajo de la capa que contiene al fósil), se llevó a cabo

mediante la asignación de claves con las que se identificó cada horizonte constituyente en la secuencia estratigráfica.



Figura 47. a y b. Asignación y marcación de claves para cada capa de roca o estrato presente en el yacimiento paleontológico, respecto a la localización del nivel base (-N3, -N2, -N1, Nivel Fósil, N1, N2, N3,...etc.).

- Descripción de la asociación faunística. Ésta consistió en la valoración y cuantificación de los elementos fósiles asociados, para establecer los procesos de fosilización que dieron origen a la preservación del organismo luego de haber ocurrido su muerte. En el análisis no se descartó ningún espécimen asociado por estar estrechamente relacionado al yacimiento fósil (Figura 48).

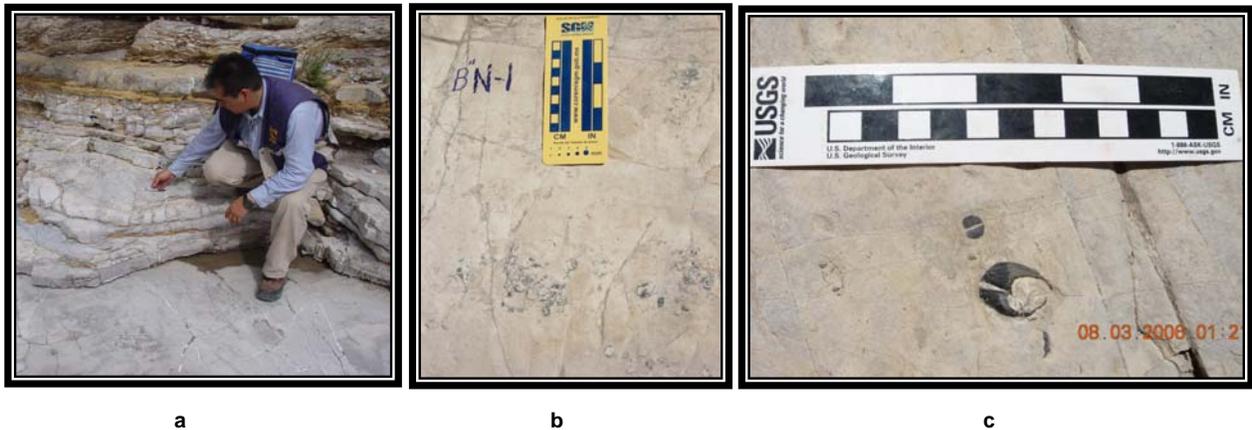


Figura 48. Determinación de los procesos de fosilización. a. En la imagen se muestra un análisis *in-situ* de campo previo al estudio de laboratorio, donde cualitativamente se examinan los procesos de muerte, sedimentación, fosilización, preservación, intemperismo, alteración, erosión, etc., con objeto de indagar la procedencia en base a los diferentes elementos asociados; b y c. Fauna asociada (valvas desarticuladas de braquiópodos y escudos cefálicos de amonite "*Aptichus mexicanus*").

- Identificación del fósil respecto al tipo de depósito (Figura 50).

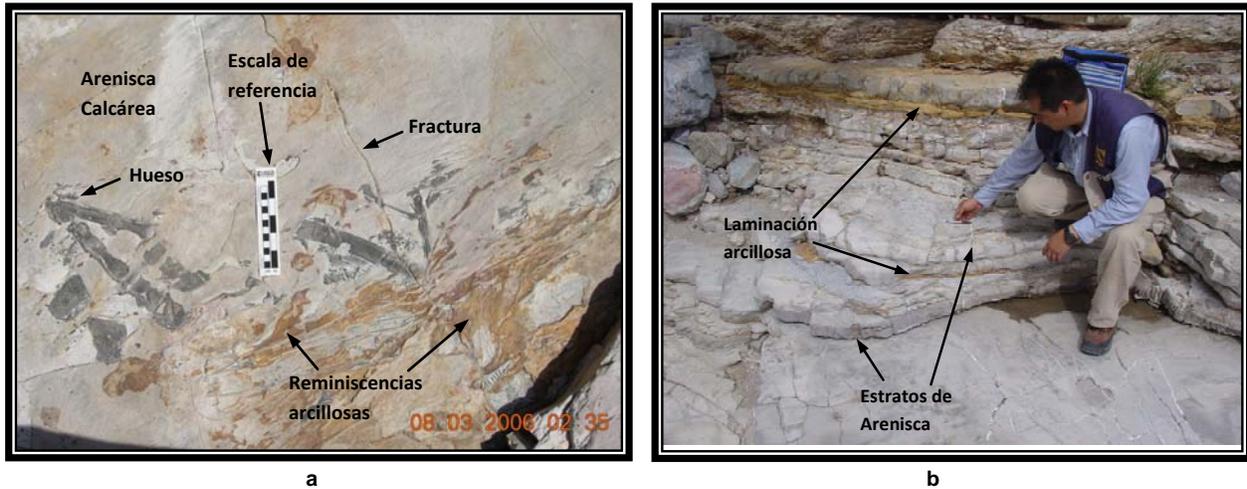


Figura 50. Reconocimiento del espécimen en estudio respecto a la roca que le embebe. a. Vertebrado fósil reemplazado en carbonato de calcio y preservado en arenisca calcárea (nótese la diferencia del color en contraste con la roca encajonante); b. Estratos de la Formación la Caja constituidos por una intercalación de areniscas calcáreas con laminaciones arcillosas.

- Recopilación de datos de campo con apoyo de notas y fotografías (Figura 51).



Figura 51. Libreta de tránsito con apuntes recabados, esquemas y calcas *in-situ* para los elementos osteológicos expuestos sobre la superficie del estrato.

II.III.IV.- Extracción, protección y transporte del material paleontológico.

II.III.IV.I.- Procedimiento de extracción del vertebrado. El fósil se encontró en una roca de naturaleza rígida, en el lecho de un arroyo con paredes abruptas, donde la unidad encajonante fue labrada entre lomas con pendientes suaves y estratos dispuestos con un rumbo N 35° E y una inclinación de 20° SE (Figura 52).



Figura 52. Yacimiento fósil dispuesto en estratos inclinados con un ángulo de 20° SE.

Como parte de las técnicas de rescate para sacar el material sin destrozarlo, se dimensionó la periferia de la roca respecto a las dimensiones de la osamenta, evitando el martilleo brusco (Figura 53), de esta manera se inhibió el golpeteo violento y se disminuyó el grado de fracturamiento del material.

Las fracturas presentes en la roca y el hueso se trataron con un aglutinante conocido como gliptol con acetona en proporción 10 a 90% (Figura 54). Previendo que la solución penetrase con firmeza en el hueso, su aplicación se suministró sobre la

superficie seca y limpia del mismo en capas delgadas con ayuda de un pequeño pincel de cerda suave.



a b
Figura 53. a y b. Corte y dimensionado de roca, el excedente se eliminó en laboratorio.



Figura 54. Tratamiento de dureza para un fragmento de hueso fracturado. Aplicación de aglutinante sobre la superficie agrietada en proporción 10% de gliptol con 90% de acetona.

La remoción de los estratos superiores que cubrían al nivel base donde se localizó al vertebrado, se retiraron de manera gradual durante el lapso de una semana, para ello se aprovecharon los sistemas de fractura entre cada plano de estratificación y

con apoyo de barras metálicas, ejerciendo palanca se desprendió cada horizonte suprayacente (Figura 55).



Figura 55. Remoción sistemática gradual sobre las superficies de contacto para cada horizonte suprayacente al estrato base (nivel del fósil).

Posterior a la remoción se efectuó un muestreo de roca arriba y abajo del nivel base para la elaboración de láminas delgadas (Figura 56), el resultado fue el análisis petrográfico facial y microfacial estándar de Wilson descrito en las páginas 70 a 74.



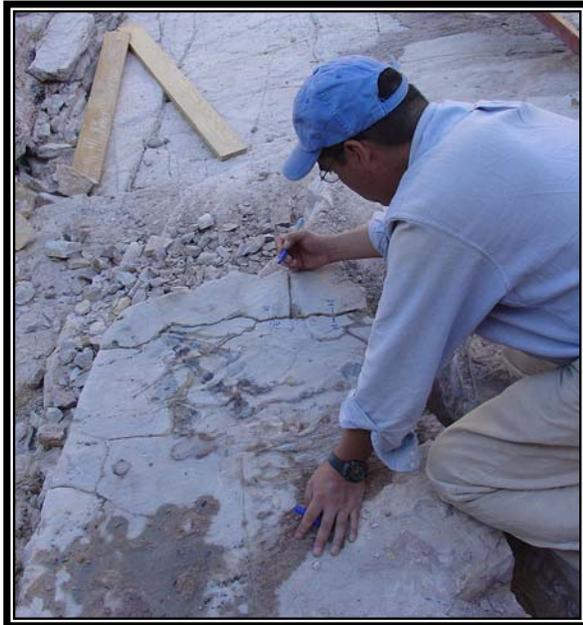
Figura 56. Selección y muestreo de roca. Cada fragmento se marcó con una clave asignada acorde con el horizonte de procedencia considerando el tope y base del mismo.

Para retirar el vertebrado se laboró una base metálica rígida y fuerte con una capacidad de carga de aproximadamente 6 toneladas, en ella se transportó el material hacia el laboratorio (Figura 57).



Figura 57. Base metálica con tablas de madera (al centro de la imagen), hule espuma y esponja para la amortiguación del material transportado.

Durante la colecta del material para facilitar el armado y evitar la disgregación de las piezas fracturadas, se rotularon los elementos óseos con tinta permanente, así en lo subsecuente se simplificó el montaje de los bloques en laboratorio mediante la asignación de claves numéricas orientadas (Figura 58).



a



b

Figura 58. a y b. Enumeración de piezas de roca que presentan fracturas mayores sobre cada segmento agrietado.

Para rescatar el fósil en el menor número de fracciones posible, se decidió extraerlo en dos piezas de roca, atendiendo primordialmente a una zona de fractura mayor que atravesó en su totalidad al ejemplar en estudio (Figura 59). La protección que se le dio al material se confeccionó con una envoltura de hule espuma, posteriormente se montó sobre la base y finalmente se transportó al laboratorio (Figura 59 g, h, i, j).



Figura 59. Secuencia y procedimiento de rescate fósil en dos piezas de roca, desde el campo hasta su transporte en laboratorio. a. Roca y fósil *in-situ* antes de su extracción (la flecha negra señala la fractura principal); b. Delimitado y corte de roca en dos secciones; c, d, e, f. Desprendimiento de la primer pieza de roca; g, h, i, j. Montaje del material sobre base metálica y protección del mismo en hule espuma; k, l, m, n, o. Separación, montaje en base metálica, carga y ascenso de la segunda pieza de roca en el vehículo de transporte; p. Traslado del material hacia laboratorio.

II.IV- Limpieza y curación de material paleontológico.

De acuerdo con la metodología propuesta por Flores-Castillo (2007), la preparación comprende diferentes etapas como son limpieza y remoción de sedimentos, restauración y endurecimiento de ejemplares para retirar el exceso de material dejando al elemento esquelético en condiciones que faciliten su manejo y descripción anatómica. Al respecto en este trabajo, se da seguimiento a dicha metodología:

II.IV.I.- Recepción y preparación del material para su limpieza.

El procedimiento consiste de los siguientes pasos:

- a. Examinación y determinación de las condiciones en que llegó el material de campo a laboratorio (Figura 60).



Figura 60. Condiciones de arribo del material a laboratorio. a. Imagen correspondiente a una de las dos piezas rescatadas; b. Una vez en laboratorio, el proceso de limpieza da inicio verificando que los bloques desprendidos y las partes constitutivas del material se encuentren todas en su posición original, tal como se aprecia en la imagen.

- b. Selección del método y proceso de limpieza. Particularmente para el estudio del presente trabajo, se decidió trabajar con dos métodos; el físico a base de percusión eléctrico-neumática y el químico por reactivos.

II.IV.II.- Limpieza.

Métodos de limpieza. La realización de limpieza se efectuó como a continuación se describe:

A) Método mecánico. Con ayuda de un “Air-Scribe” o taladro de alta velocidad eléctrico y/o neumático (Figura 61), se dirige el percutor a la muestra, hasta liberar el ejemplar total o parcialmente. Para el estudio en cuestión, el proceso de percusión involucró ambos aparatos, además de pequeños cinceles y martillos de moderado a bajo peso con mangos de madera, cabezas metálicas y de caucho. En este proceso se retiró el sedimento excedente que recubría al hueso hasta liberarlo parcialmente (Figura 62).

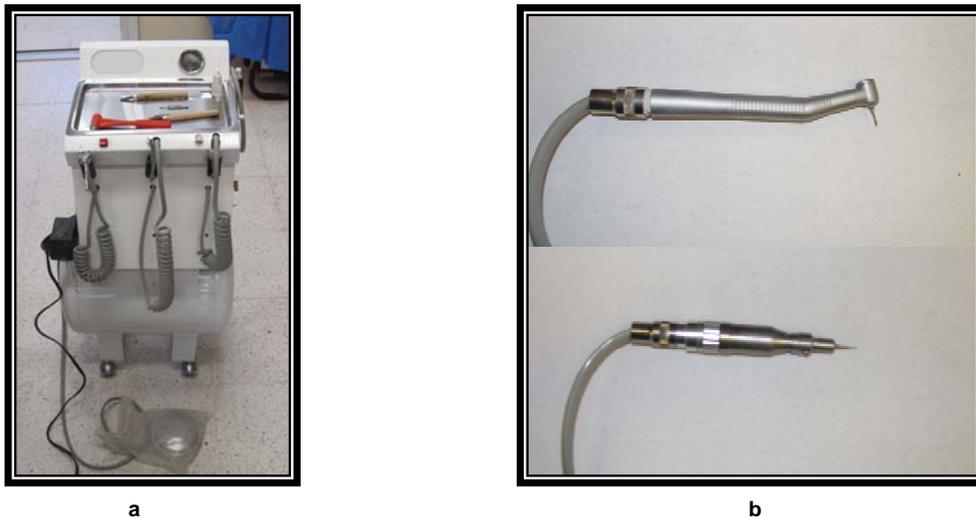


Figura 61. a y b. Equipo de percusión neumática con el cual se dio limpieza al vertebrado de estudio (robotín con turbinetas de alta y baja velocidad).

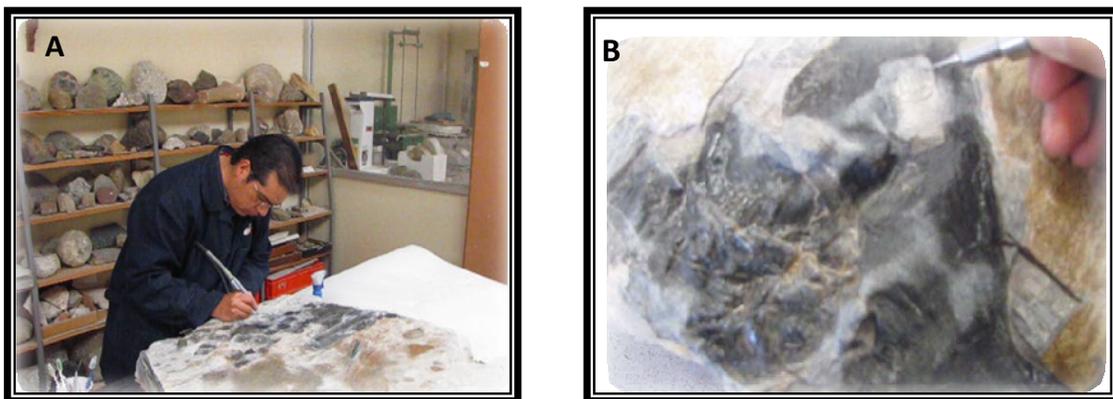


Figura 62. Limpieza mecánica por percusión. A. Con percutor eléctrico. B. Con percutor neumático.

B) Método químico. Éste consistió en la aplicación de reactivos químicos como ácidos fuertes o ácidos orgánicos, ejerciendo acción disolvente sobre la matriz de la roca sin dañar el material fósil. En el presente trabajo se utilizó diferentes sustancias como agua oxigenada, ácido clorhídrico al 10% y vinagre de caña al 6% de acidez; además de ácido acético o vinagre de caña (Figura 63). El procedimiento implicó añadir por separado ligeros chorros de la sustancia sobre la superficie de la roca, e inmediatamente después de su aplicación, se supervisó cuidadosamente que el tiempo de reacción de la solución sobre el material a limpiar no excediera más de unos cuantos segundos, de manera que no se dañase la superficie del hueso, desde el periostio hasta su interior.



Figura 63. Limpieza química por dilución. a. Mediante el uso de ácido orgánico suave a base de vinagre de caña al 6%. b. Seguido a la aplicación de la sustancia, la superficie del hueso se limpia con pequeñas porciones de papel para evitar que el ácido penetre en el hueso.

II.IV.II.I- Limpieza por método mecánico.

Proceso. La limpieza del esqueleto se realizó por áreas pequeñas, desde las márgenes hacia el interior, removiendo la matriz en forma escalonada y por niveles según se requirió. Para evitar daño al periostio en partes donde la cubierta de la roca excedió el espesor sobre la superficie limitada del hueso (de 1 a 2 mm), se desprendió lentamente el sedimento con ayuda de brochas y/o pinceles (Figura 64).



Figura 64. Remoción del sedimento en forma de capas o niveles sobre la superficie de la roca.

II.IV.II.II.- Limpieza por método químico.

Proceso. Además de las sustancias anteriormente mencionadas, se utilizó removedor de arcillas, el cual se aplicó a pequeños fragmentos osteológicos por inmersión en un recipiente, donde se diluyó parte de la matriz de la roca sin atacar al hueso. Las zonas de debilidad donde el material presentó fracturas, recibieron un tratamiento de dureza con aglutinante que endureció al hueso. Posteriormente después de esta fase, nuevamente se dio pauta a la limpieza mecánica.

II.IV.III- Curación.

Las zonas donde el ejemplar se encontró ampliamente fracturado se unieron a manera de rompecabezas con base en las claves previamente colocadas en campo (Figura 65).



Figura 65. Unión de piezas fracturadas, embonadas unas con otras gracias a una clave y línea de apoyo.



b.

Figura 66. Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Mayo del 2010 (a), contra el mes de Junio del 2010 (b), el área contenida en el círculo refleja el avance de limpieza.

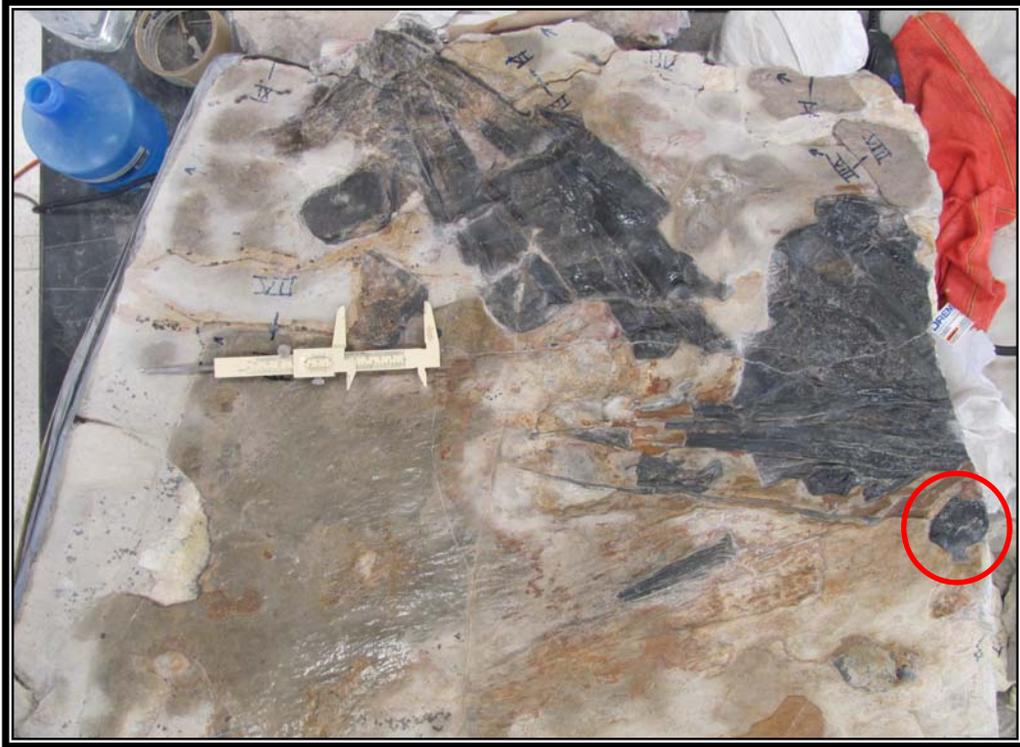


a.

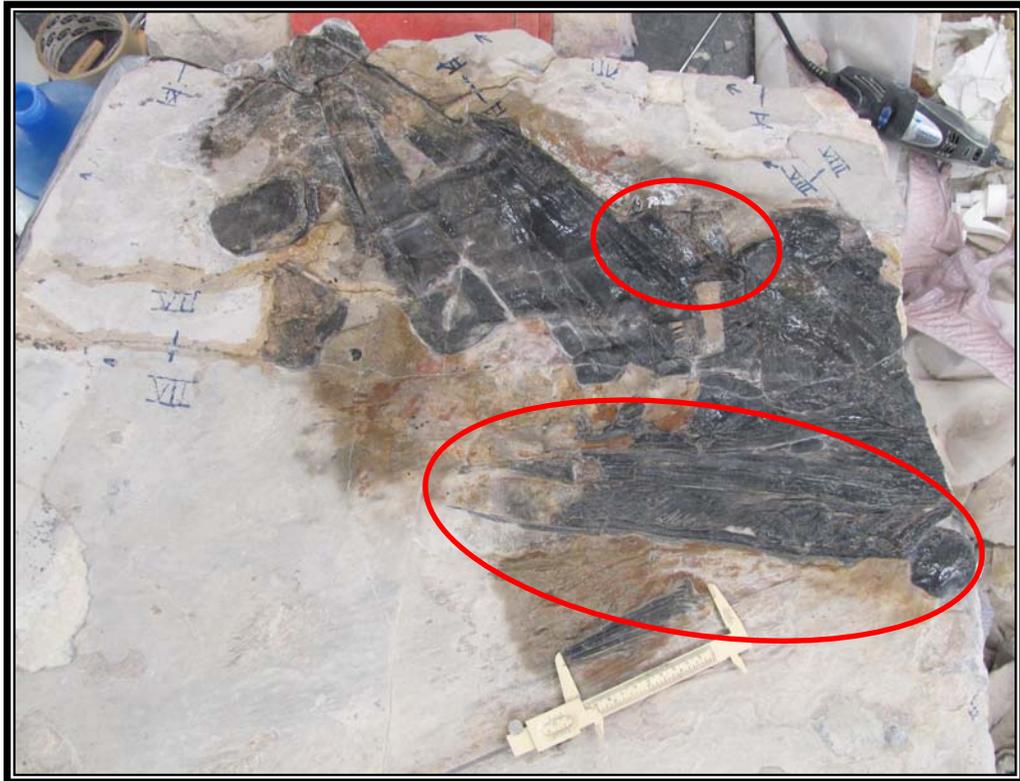


b.

Figura 67. Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Julio del 2010 (a), contra el mes de Agosto del 2010 (b), el área contenida en el círculo refleja el avance de limpieza de un mes a otro.



a.



b.

Figura 68. Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Septiembre del 2010 (a), contra el mes de Octubre del 2010 (b), las áreas contenidas en los círculos reflejan el avance de limpieza de un mes a otro.



a.



b.

Figura 69. Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Noviembre del 2010 (a), contra el mes de Diciembre del 2010 (b), las áreas contenidas en los círculos reflejan el avance de limpieza de un mes a otro.

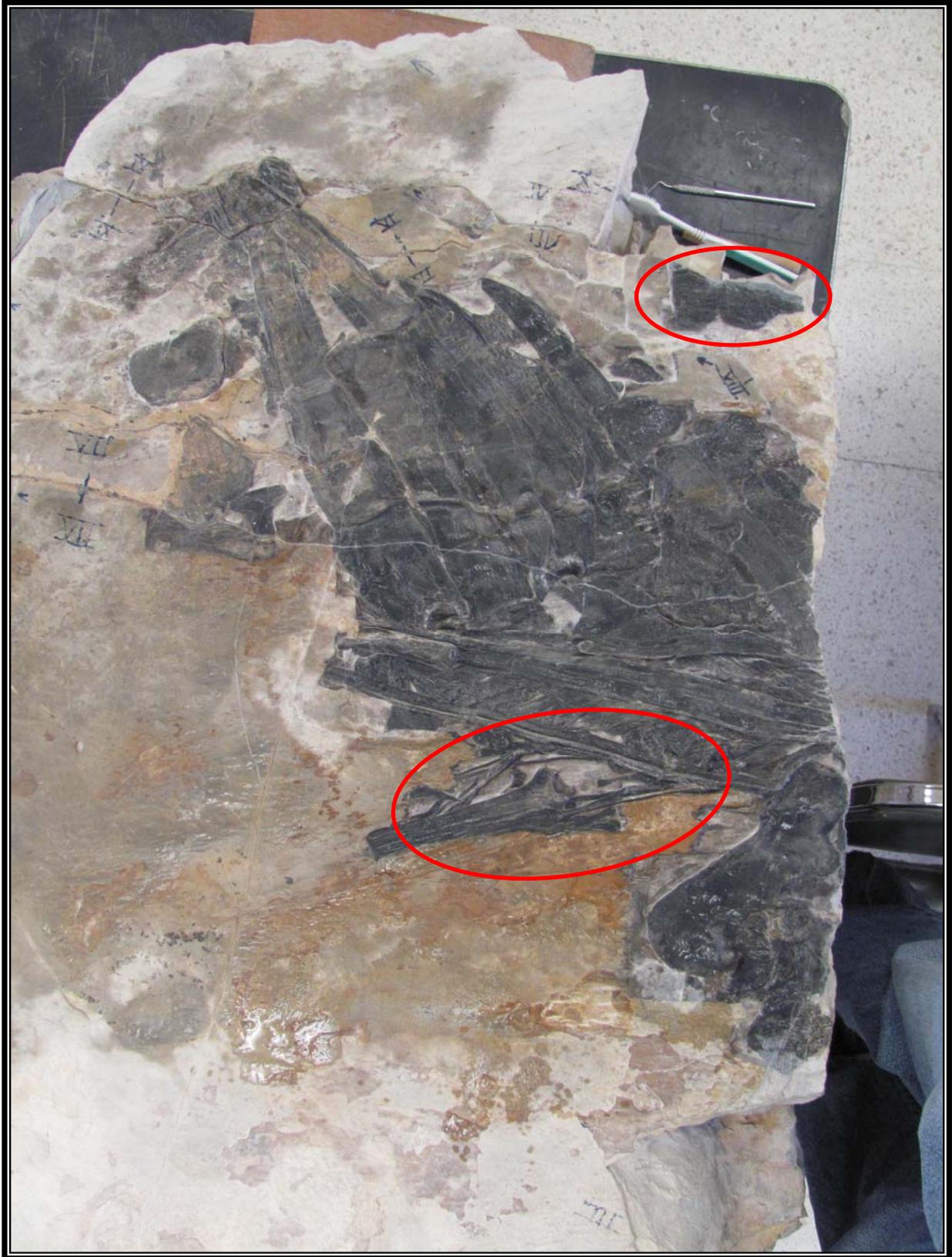


a.



b.

Figura 70. Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Enero del 2011 (a), contra el mes de Febrero del 2011 (b), las áreas contenidas en los círculos reflejan el avance de limpieza de un mes a otro.



a



b.

Figura 71. Remoción de sedimento. Cotejamiento del mes de Marzo del 2011 (a), contra el mes de Abril del 2011 (b), las áreas contenidas en los círculos reflejan el avance de limpieza de un mes a otro).

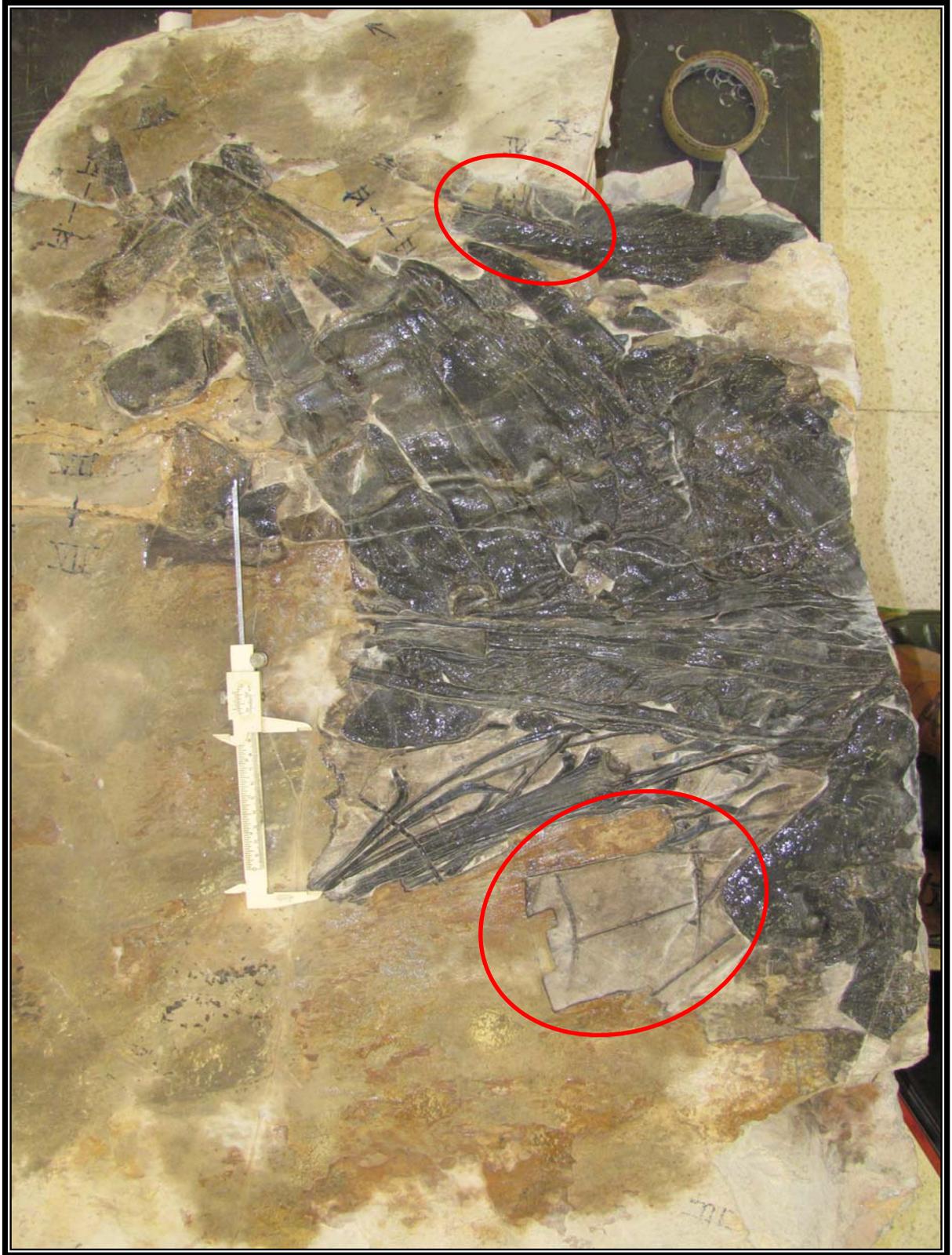


Figura 72. Remoción de sedimento. Último avance correspondiente al mes de Mayo del 2011, el área contenida en el círculo refleja el avance de limpieza.

III.- CONSIDERACIONES SOBRE LA TAFONOMÍA DEL MATERIAL FÓSIL.

III.I.-Observaciones tafonómicas.

A través de un fósil, se conoce importante información de la historia de la Tierra. Sin embargo, para que un organismo pueda aportar información es necesario que la descripción del mismo adquiera un carácter taxonómico, y para ello primero es necesario realizar un estudio tafonómico en el que se describa y considere, cual es el complejo proceso que ha conducido finalmente a su preservación en las rocas.

Cuando la muerte de un organismo es seguida por un determinado proceso de transformación biológica y física, entonces el estudio de la preservación del fósil y la distribución de los procesos naturales que han intervenido, quedan enmarcados en la tafonomía, (Bermudo Meléndez, 1977).

Tafonomía es un término griego que significa “Ciencia del proceso de preservación”; el cual es definido por Fremov (1940) en Bermudo Meléndez (1977), como “El estudio de la transición en todos los detalles de los restos orgánicos desde la biósfera hasta quedar contenidos dentro de la litosfera”.

Existen diversos métodos tafonómicos para estudiar los restos fósiles. Con base en Bermudo Meléndez *op cit.* (1977), este trabajo describe los primeros rasgos establecidos para los primeros elementos óseos descubiertos en la roca. De las observaciones efectuadas por anatomía comparada en Liston (2008), el organismo en estudio presentó algunos caracteres generales pertenecientes a un osteíctio de la subclase actinopterygia, orden pachycormiformes.

Un pachycormiforme es un orden extinto de peces óseos jurásicos que formaron parte de los Actinopterigios, y un Actinopterigio es un tipo de pez fósil del que actualmente deriva la mayoría de los peces presentes, con una estructura de aletas pares radiadas y una aleta dorsal (Bermudo-Meléndez, 1979).

Apreciaciones tafonómicas generadas en campo y laboratorio durante el proceso de limpieza y curación:

- En términos generales el ejemplar presentó componentes osteológicos parcialmente comprimidos y en parte se encuentra desarticulado (Figura 73).



Figura 73. Disposición generalizada de los componentes óseos. Al centro de la imagen en el interior de la elipse, se aprecia el amontonamiento de los huesos dispuestos unos encima de otros. D (dentario), Mx (maxilar), F (frontal alargado) y P (parietal) fusionados por una línea de sutura y que forman parte del techo craneal que cubre la zona orbitaria, Ctyal (ceratoyal, hueso que da articulación a la mandíbula inferior), lio (lacrimal infraorbitario), Q (cuadrado), Hm (hiomandibular) y Ap (radios de aleta pectoral desarticulada).

- El ejemplar presentó huesos dentarios osificados aún articulados y en la posición original que tenía cuando estaba vivo (Figura 74).

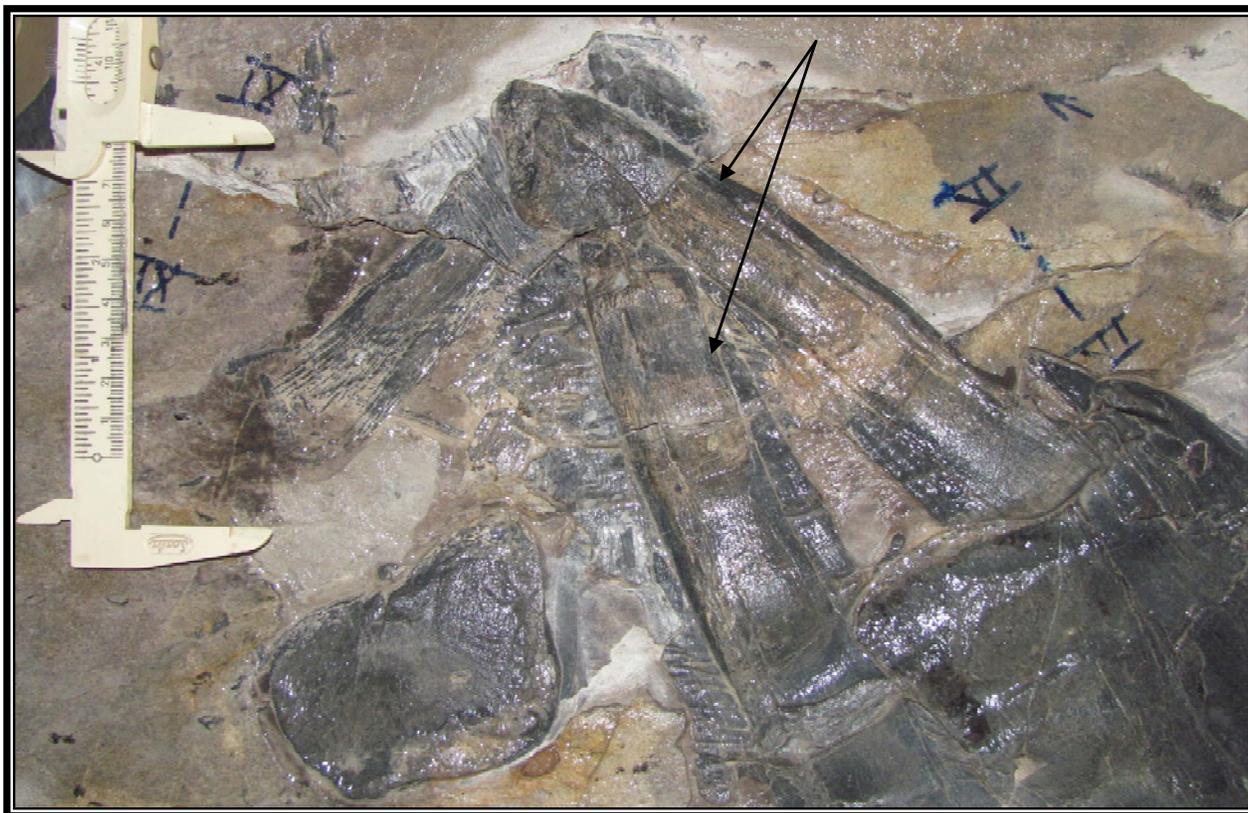


Figura 74. Huesos dentarios (señalados con flechas) delgados y alargados pertenecientes a la mandíbula inferior; los cuales carecen de molariformes.

- El grado de conservación del ejemplar en relación con el depósito fue bueno puesto que no hubo retrabajamiento.
- Por el tipo de microfósiles anteriormente descritos en el apartado referente al estudio petrográfico, se sabe que inmediatamente después de su muerte, el organismo fue transportado hacia el depósito marino por efecto de gravedad en el fondo oceánico, y que fue sepultado por material calcáreo-arenoso en un ambiente de sedimentación de cuenca marina profunda más allá de la margen de plataforma de carbonatos, con depósito de arcillas pelágicas, fango carbonatado y lodo hemipelágico donde la influencia de energía fue baja a moderada.
- Arriba del nivel base en las capas superiores donde se depositó el espécimen, fosilizaron algunos elementos aislados de ornamentación bifurcada con similitud a aletas radiales (Figura 75).
- El tipo de asociación faunística está representada por invertebrados fósiles como amonites, braquiópodos y pelecípodos (Figura 76).



Figura 75. Elementos fósiles aislados, de simetría radial bifurcada.

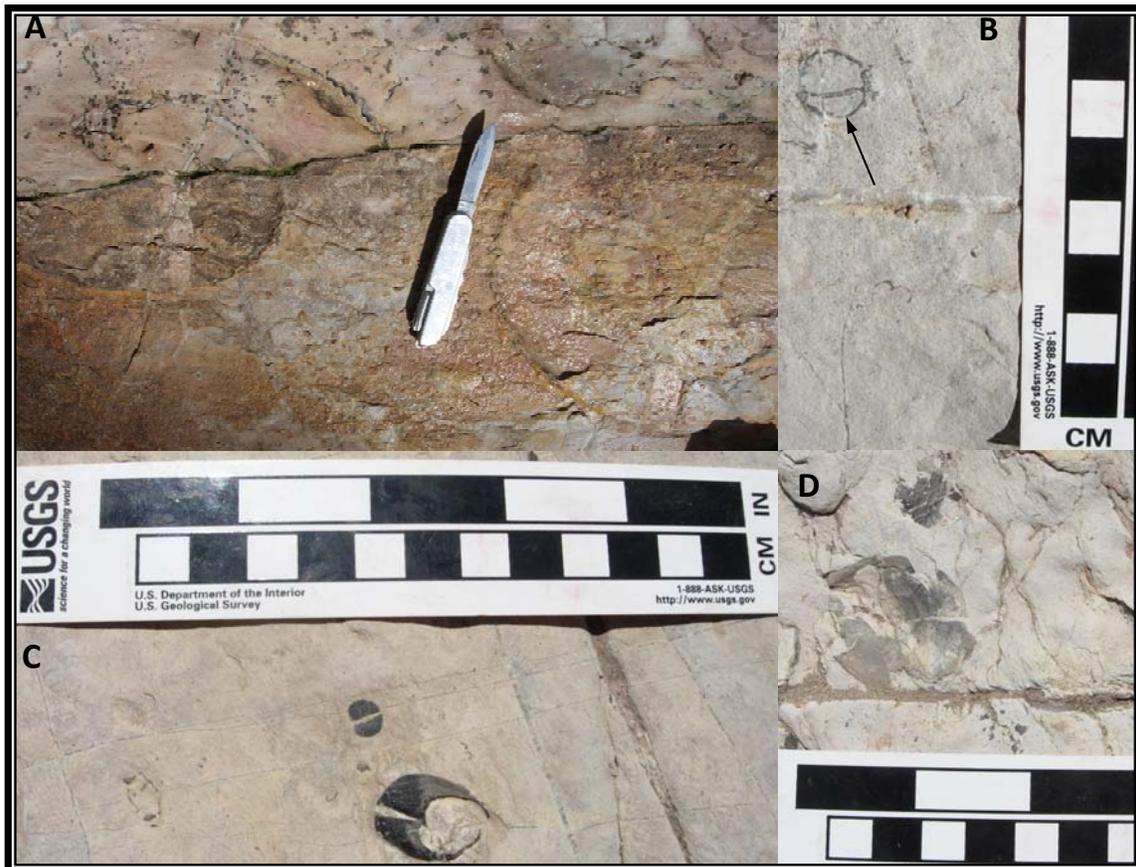


Figura 76. Elementos asociados al esqueleto. A. Impresión de amonites, B. Braquiópodo visto en un corte transversal, C. Escudo cefálico de un *Aptichus mexicanus*. y D. Valva de un pelecípodo.

- Se infiere que las causas de muerte para el espécimen fueron naturales ya que no se encontraron evidencias directas de depredación como marcas de masticación, sin embargo debajo del estrato donde éste se preservó, se descubrieron rasgos de bioturbación osteológica a consecuencia de organismos reptoires (Figura 77).

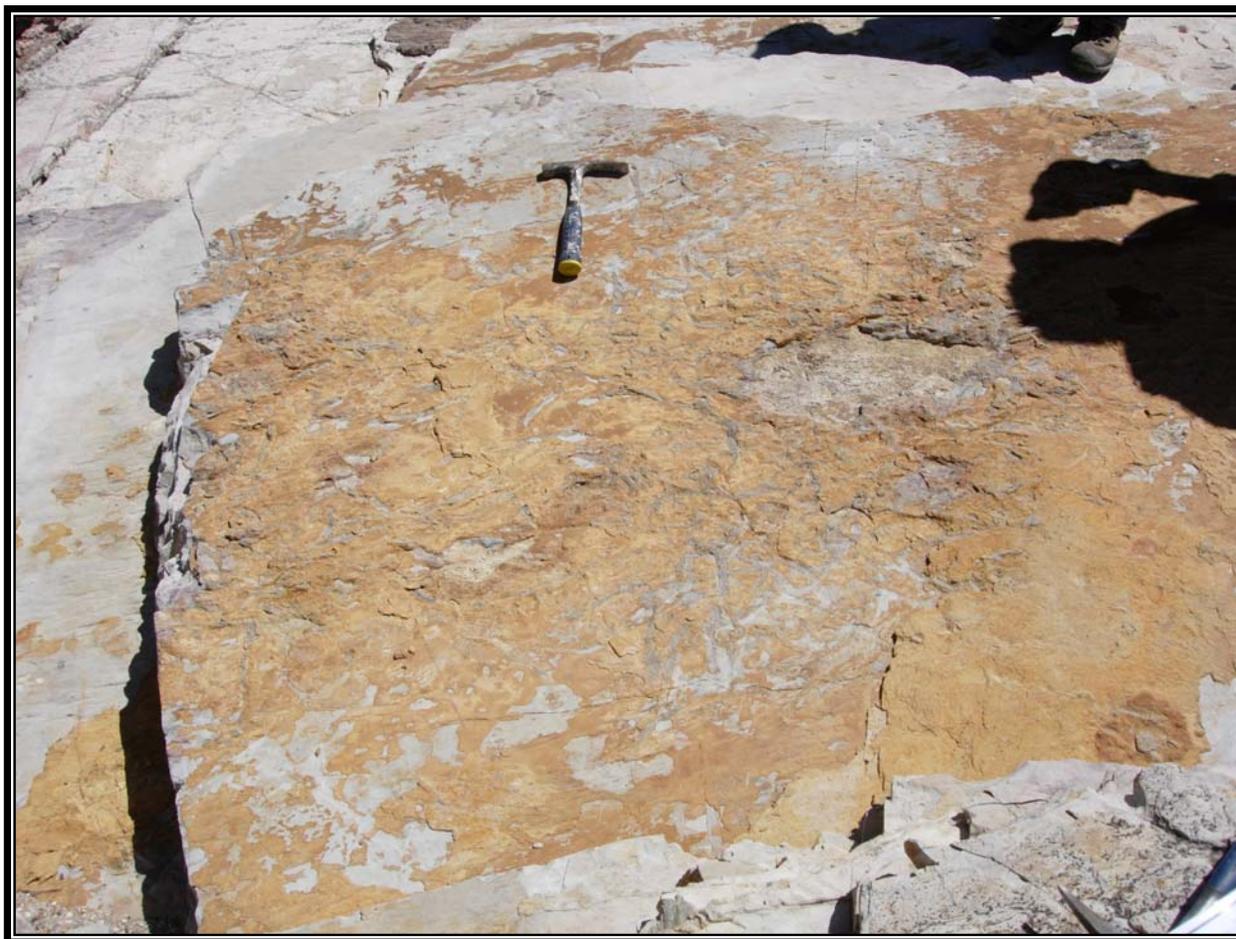


Figura 77. Rasgos de bioturbación bajo el estrato donde fosilizó el organismo, proceso que evidencia el reciclaje osteológico natural durante el desarrollo de transformación físico-biológica.

- Los estratos que componen la unidad sedimentaria sufrieron bajo grado de intemperismo químico-biológico, producto de algunas raíces que gradualmente se extendieron entre los contactos de los estratos (Figura 78). En respuesta a cambios de temperatura diurnos a nocturnos por efecto de heladas y radiación solar, hubo expansión y contracción de la roca sin alterar notoriamente la materia fósil.



Figura 78. Marcas de intemperismo químico-biológico ocasionado por algunas raíces entre las cavidades de la roca. El cambio de coloración café rojizo en transición al anaranjado, es producto de la alteración de algunas arcillas y minerales como la limolita.

- La principal fuente erosiva que actúo sobre el ejemplar en estudio fue de tipo fluvial, y el daño al que estuvo expuesto fue bajo a moderado. El escaso desgaste sobre el hueso, permitió que las porciones esqueléticas mantuviesen condiciones descriptivas sin suprimir los detalles morfológicos (Figura 79).
- Perpendiculares a la estratificación se desarrollaron una serie de fracturas epigenéticas originadas por esfuerzos tectónicos, algunas de ellas rellenas de material arcilloso que atraviesan total a parcialmente el organismo.
- Correspondiente a la diagnosis craneana, parte del material pertenece a una fracción endocraneana con huesos masivos; y la otra, corresponde a una porción dermatocraneana con huesos de simetría radial y espesores oscilantes entre 1 a 2 mm.

- El análisis megascópico estableció la ausencia de elementos molariformes sobre los huesos dentarios, sin embargo esta notable característica desempeñó un papel importante en la determinación de los elementos taxa.

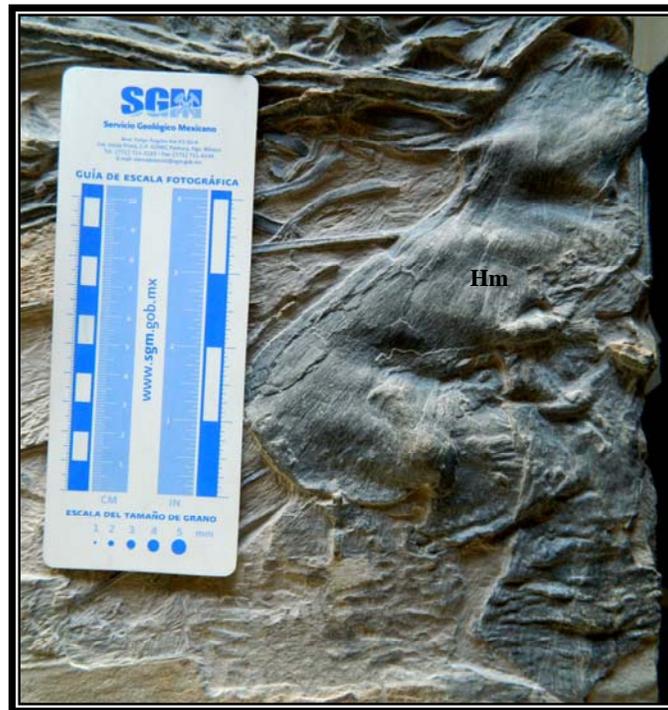


Figura 79. Hueso fósil *in-situ* parcialmente afectado por intemperismo mecánico. El efecto de la radiación solar provocó un cambio tenue en la coloración del hueso, pasando de gris oscuro a gris claro. Ciertas áreas del esqueleto sufrieron desgaste de bajo grado, presentando una superficie de textura rugosa donde las aristas de algunos fragmentos óseos sufrieron ligero deterioro; en partes, los agentes erosivos (agua y viento) atravesaron al periostio y horadaron el hueso hasta alcanzar el tejido esponjoso. Las fracturas generadas por procesos de tectonismo en la roca donde fosilizó el organismo se acentuaron por contracción y expansión del material, debido a las variantes de temperatura, ocasionando que una porción del esqueleto se rompiera sin llegar a separarlo por completo.

- La osificación de los huesos manifiesta dos características primordiales:
 - a). Superficie ósea con estriamiento de tendencia radial (Figura 80). Esta característica craneana se presenta en algunos elementos óseos que constituyeron parte de la capa pericraneal (membrana que recubre al tejido óseo), especialmente en los huesos dérmicos como el frontal y parietal además del hiomandibular.
 - b). Espesores esqueléticos delgados y en partes laminados con oscilaciones de entre 4 cm a 1 mm de ancho.



a



b

Figura 80. Morfología ósea con estriamiento de tipo radial que surge de la parte media en huesos que cubrían el techo de la zona orbitaria y mandibular. a. Hueso dermatocraneal parietal (P) y frontal (F). b. Hueso endocraneal hiomandibular (Hm).

- El modo de preservación del material fue calcificación y el tipo de reemplazamiento por intercambio iónico.
- *Modo de vida y tipo de ambiente.* De acuerdo con algunos estudios realizados por Jeff Liston (2005), este tipo de peces de vida nectónica, se alimentaban de plancton y emigraban largas distancias adaptándose a diferentes

condiciones marinas con cambios de temperatura y presión. Jugaron un papel importante en el ecosistema marino, teniendo una amplia distribución con un difícil proceso de fosilización ya que su esqueleto no era del todo osificado y frecuentemente la fracción cartilaginosa era difícil de preservar.

III.II.- Clasificación siguiendo los criterios evolutivos del vertebrado.

Las siguientes descripciones de material craneano siguen la terminología basada de los huesos hasta donde lo permitió su morfología, la identificación de los niveles taxa se obtuvo mediante el reconocimiento de varios caracteres de parsimonio para el grupo de los pachycormiformidos, el cual fue propuesto por Liston (2008). Donde según la morfología craneana del organismo en estudio, se reconocieron algunos elementos osteológicos bajo un consenso estricto para los cinco árboles parsimoniosos de igualdad por medio de 15 caracteres desordenados parsimonio-informativos.

Análisis paleogenético:

Caracteres 1-15: Distribución de los estados de caracteres derivados dentro de los Pachycormidae. Los primeros dos caracteres del rostrodermetoideo al que hace referencia Lambers (1992). En Leedsichthys, aún no se ha identificado el rostrodermetoideo, en Martillichthys no llega a la punta de la cabeza o la sínfisis mandibular inferior, y parece ser desdentado.

Caracteres 3 y 4 se refieren a la dentición premaxilar y a la premaxila que no ha sido identificada para cualquiera de los géneros, Leedsichthys o Martillichthys.

Caracteres 5 y 6 se refieren a la dentición del dentario, y el dentario parece ser desdentado tanto en los géneros Leedsichthys y Martillichthys.

Caracter 7, se refiere a la presencia de "colmillos" en las branquiespinas. Se pueden encontrar branquiespinas en Leedsichthys y asociados a estructuras que han sido identificadas como rastrillos con dientes por un espécimen de Asthenocormus, pero están ausentes de los arcos branquiales y se encuentran en Martillichthys. Este carácter sólo puede evaluarse fácilmente en los representantes más grandes de los

Pachycormidae, donde los rastrillos fácilmente pueden ser vistos y examinados, y aún así los "colmillos" no pudieran preservarse completamente osificados (Van den Berg *et al.*, 1994). Por lo tanto, la presencia/ausencia de estos "dientes aguja" son un carácter que no puede ser rigurosamente demostrado para los pequeños representantes de la familia (por ejemplo, *Sauropsis*, *Haasichthys*). Además, como la pérdida de los dientes (estado 2 de caracteres 2, 4, 5 y 6 del conjunto de datos Lambers) y la proliferación de arcos branquiales son características que con frecuencia van de la mano (Nelson, 1967; Sanderson y Wassersug, 1990; Lazzaro, 1987) y la presencia de estructuras secundarias tales como agallas, "colmillos", que frecuentemente son reportados tal como la proliferación de agallas, por ejemplo Peck (1893); Yasuda (1960); De Ciochowski (1967); Friedland (1985); Gibson (1988), puede ser una forma de codificar repetidamente para el mismo conjunto de caracteres, dando el peso de transición indebido. Por eso se sugiere que el carácter 7 sea eliminado del conjunto de datos.

Carácter 8, se refiere a la presencia de un patrón morfológico comparativo en la parte posterior del techo del cráneo, que está ausente en *Martillichthys*, pero presente como una estructura postparietal en *Leedsichthys*.

Caracteres 9-13 se relacionan con las aletas. El carácter 9 se refiere a la colocación relativa y el origen de la dorsal y aletas anales, que no se puede determinar en *Leedsichthys*, pero sí en *Asthenocormus* y *Martillichthys*. Aunque parece claro sobre la base del tamaño de la aleta que se encuentra más hacia adelante en el cuerpo de BMNH P.61563, algunas están trenzadas en el individuo dañando las aletas finas. Caracteres 10 y 11 se relacionan a la presencia de una aleta pélvica y una placa pélvica. No hay evidencia de ninguna de las estructuras pélvicas en *Leedsichthys*, y aunque una placa pélvica no está visible en *Martillichthys*, la aleta pélvica derecha sí parece estar presente.

Carácter 12, se relaciona con la forma de la aleta anal, que en *Asthenocormus* y *Martillichthys* es triangular. En *Leedsichthys*, aunque la aleta anal no está totalmente conservada, varias aletas anales están soportadas por los rayos individuales de una aleta proximal, lo que permite que sea reconstruida como triangular.

Carácter 13, se relaciona con una aleta caudal de rayos segmentados/articulados, que ninguno de los pachycormiformidos la exhibe.

Caracter 14, se relaciona con la presencia de ambas o una sola línea de supraneurales entre el cráneo y la aleta dorsal, a pesar de que *Asthenocormus* y *Martillichthys* no muestran una doble fila, restos de *Leedsichthys* indican la presencia de este caracter.

Caracter 15, se refiere a la osificación de vértebras centrales, que no muestra ninguno de los Pachycormiformes desdentados. A pesar de ello, los ejemplares de *Asthenocormus* dejan impresiones que hacen posible contar las vértebras centrales en su esqueleto axial, pero esto es más de una rasgo de preservación de la excepcional cualidad de la roca caliza de Solnhofen en comparación con la arcilla de Oxford, que de cualquier diferencia en mineralización intrínseca de la cuerda central.

Incorporado a esta información, Liston (2008) anexa los datos de la matriz donde se realiza un análisis para un conjunto de caracteres desordenado en el que se evalúa el nuevo taxón que podría asentarse en la relación del árbol de consenso (Lambers 1992: 281). Los círculos rojos que se muestran en la tabla de la figura 81 y que encierran algunos caracteres, proyectan claramente el patrón de emparentamiento del organismo en estudio con tres de los 13 géneros posibles a los cuales se encuentra estrechamente relacionado.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Outgroup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sauropsis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Euthynotus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
<i>Hypsocormus macrodon</i>	0	1	1	1	0	1	0	2	1	0	1	1	0	0	1	1
<i>Orihocormus</i>	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	0	0	1	1
<i>Hypsocormus insignis</i>	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
<i>Pseudoasthenocormus</i>	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
<i>Protosphyraena</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	?	?	?	?	1	?	1	1
<i>Pachycormus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	1	0	1
<i>Saurostomus</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2	0	0	1	1	1
<i>Asthenocormus</i>	0	2	2	2	2	2	1	0	0	7	2	0	1	0	7	1
<i>Leedsichthys</i>	7	7	7	7	2	2	1	1	7	1	2	0	1	1	1	1
<i>Martillichthys</i>	0	2	7	7	2	2	0	0	0	0	2	0	1	0	1	1

Figura 81. Distribución de los estados de caracteres derivados entre los Pachycormidos. Conjunto de datos modificado según Lambers (1992).

De acuerdo con esta distribución el diagnóstico para el organismo en estudio queda comprendido de la siguiente manera:

- Según los dos primeros caracteres *Martillichthys* presenta una oclusión en el rostrodermetoideo sobre la punta del hocico, por lo tanto tiene exclusión de la frontera anterodorsal de la boca, este carácter se comparte con el organismo estudiado.

- Los caracteres 5-2 establecen la ausencia de dientes en el dentario en los géneros *Leedsichthys* y *Martillichthys*, este carácter también lo comparte el organismo de estudio.

- Los caracteres 6-2, hacen referencia a las filas en la dentadura del dentario, y éste carácter se encuentra ausente debido a que no tiene dientes.

- Los caracteres 7-1 corresponden a la presencia de colmillos en las branquiespinas; los cuales están ausentes para los huesos analizados en este trabajo. Sin embargo también hacen alusión a la presencia de rastrillos branquiales con un elevado número de pequeños y afilados huesos. Para el organismo en estudio, se han detectado pequeños huesos con “aspecto de dientes en forma de aguja” (Figura 82).

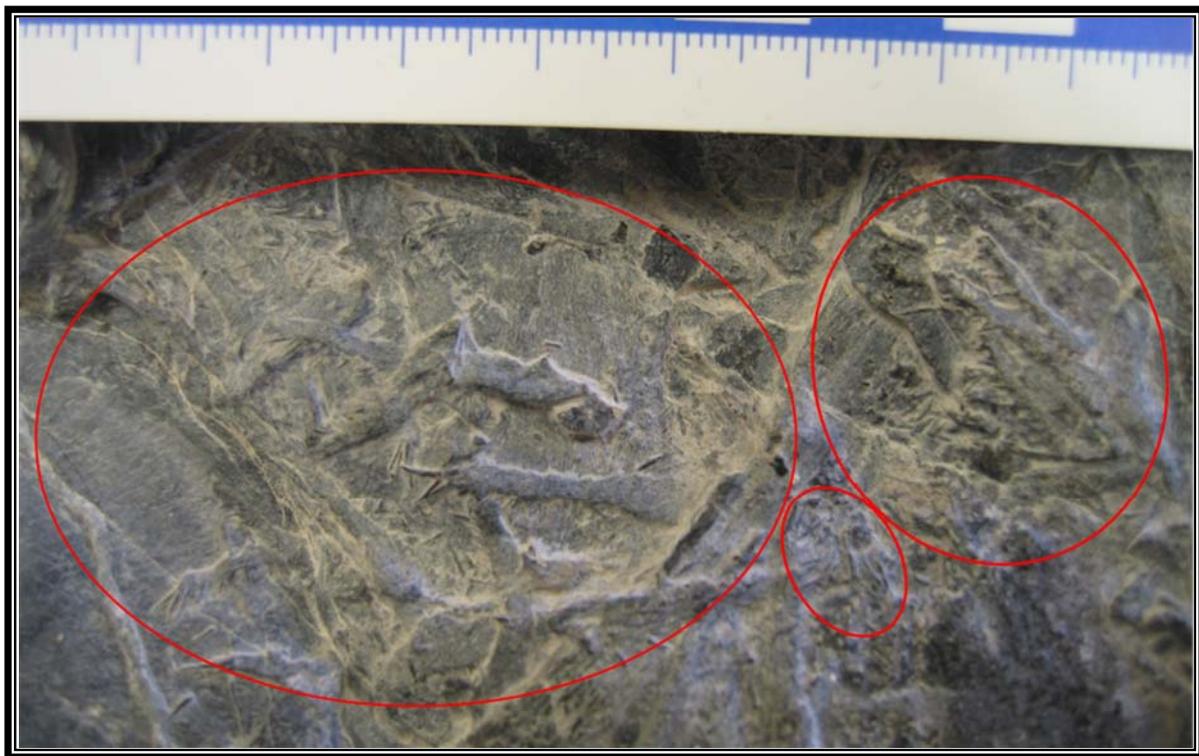


Figura 82. Agallas diminutas asociadas a rastrillos, localizadas perpendicularmente entre los lineamientos de los arcos mandibulares. La escala que aparece en la parte superior de la fotografía está medida en centímetros.

- Otros rasgos que muestra el organismo en estudio es que su mandíbula inferior no presenta el proceso coronoide elevado (Figura 83), además la articulación de la mandíbula inferior se encuentra muy por detrás de la órbita. De acuerdo con lo establecido por Lambers (1992), este segundo carácter de apomorfía para los pachycormis, es diferente en *Martillichthys*.



Figura 83. Proceso coronoide para el organismo en estudio, recto a ligeramente abultado en su mandíbula inferior (área ubicada en el óvalo rojo); el cual en *Martillichthys* se presenta completamente elevado.

- La diferencia más notable entre *Leedsichthys* y *Martillichthys* radica en el ángulo y anchura que compone el arco hiomandibular ya que ambos son diferentes. Para los dos primeros respecto al organismo en estudio este hueso tiene forma de "T", su borde y su base están compuestos por un arco ancho, robusto y triangular, aunque en *Leedsichthys* es más abultado que en *Martillichthys*, para el organismo en estudio este elemento presenta una notable diferencia al mantener su forma y desarrollar un arco más angosto en el borde que en la base (Figura 84), principalmente mediante este carácter es posible descartar una interrelación entre *Leedsichthys* con el organismo en estudio.



Figura 84. Hueso hiomandibular del ejemplar estudiado en el que se aprecia como el borde del proceso (línea amarilla) es más angosto que su base (línea roja).

- *Martillichthys* presenta una segmentación de las aletas pectorales de entre 21-26 radios. Para el organismo en estudio el número exacto de radios aún no se tiene hasta haber concluido con su limpieza; sin embargo, sus aletas no están segmentadas pero sí fracturadas, siendo estructuralmente alargadas, ramificadas y desarticuladas (Figura 85), debido a este único carácter de segmentación en las aletas, ambos especímenes no están relacionados.



Figura 85. Estructura alargada y ramificada para una aleta pectoral fracturada con ausencia de segmentación (las flechas indican el fracturamiento). Respecto a *Martillichthys* la segmentación en la aleta pectoral sí está presente.

- Por último, un carácter expuesto para el organismo en estudio es la presencia de pequeñas escamas aparentemente romboidales. De acuerdo con Lambers (1992), este carácter presente en los pachycormidos como apomorfía no es válido en *Martillichthys* y *Leedsichthys*. Por lo tanto ya que dicha característica lo distancia de ambos, y lo aproxima con *Asthenocormus*, una vez concluida la etapa de limpieza, preparación y curación, es importante definir la forma y detalle de este elemento morfológico.

Sistemática paleontológica:

Dominio: Eucariota

Reino: Animal

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Clase: Osteictia Romer, 1976

División: Halecostomi sensu' Patterson, 1973

Subclase: Actinopterigia Romer, 1976

Infraclase: Teleóstea Romer, 1976

Superorden: Acantopterigia Romer, 1976

Orden: Pachycormiformes Berg, 1937

Familia: Pachycormidae Woodward, 1895

Género: indeterminado *aff.* *Asthenocormus* (Gregory, 1923); *Leedsichthys* (Woodward, 1889) y/o *Martillichthys* (Arratia & Schultze & Wilson, 2008).

especie: ¿?

III.III.-. Conclusiones.

Gracias a otras investigaciones paleontológicas, se sabe que según la especie, no todos los peces disponían de buena dentadura, comúnmente los de la familia Pachycormidae se alimentaban de plancton pues eran organismos filtradores. Sin embargo aquellos que desarrollaron la dentadura evolucionaron en una diversidad de formas, consumiendo peces más pequeños o crustáceos de concha dura sin representar dificultad alguna para su dieta alimenticia. En el caso del ejemplar en estudio no se encontraron molariformes, por lo que se establece que éste tipo de pez era planctívoro.

La mayoría de estos ejemplares no se preservaron con facilidad en el registro geológico, en parte debido a la limitada calcificación de su esqueleto parcialmente osificado, el cual en la mayoría de los casos difícilmente llegaba a fosilizar o bien, debido a que algunos de sus componentes esqueléticos como es el caso de las

vértebras, al ser aplastados por material suprayacente, sufrían extrema distorsión al grado de ser paleontológicamente irreconocibles.

III.IV.-. Discusiones.

Actualmente el trabajo de preparación se ha alargado más allá de lo que se proyectaba ya que el fósil aun se encuentra en proceso de limpieza, una vez que haya sido curado en su totalidad, se describirá la especie del mismo, sin embargo de las categorías jerárquicas o taxones que agrupan al ejemplar se ha logrado identificar algunos elementos diagnósticos del grupo de los pachycormiformidos. De acuerdo con lo publicado por Martill (1988), Lambers (1992), Liston (2008), entre otros, y con base en el desarrollo y porcentaje de remoción del sedimento sobre los elementos osteológicos que se tiene, se ha determinado que de estar emparentado con 13 géneros posibles, únicamente queda restringido a dos de ellos: Leedsichthys y Asthenocormus.

Una vez que se termine de limpiar será catalogado, resguardado y montado en el Laboratorio de Paleontología del Área Ciencias de La Tierra de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí quedando sujeto a estudio e investigación para determinar un análisis de mayor precisión respecto a su hábitat, utilizando la información que de él se recabe en posteriores trabajos de investigación Geológica o Paleontológica. Además, se pretende realizar trabajos de publicación como artículos, dando así fe de su valor científico por lo que a futuro se sugiere de un estudio científico más concienzudo, posiblemente con el desarrollo de una tesis doctoral.

III.V.- Recomendaciones para el resguardo de material clasificado.

Como material clasificado éste ejemplar habrá de ser resguardado en la UASLP siguiendo las medidas pertinentes que a continuación se mencionan:

- a. Guardar el material en un lugar establecido en el que no exista la necesidad de cambiarse continuamente para evitar la mezcla o extravío de información o elementos óseos.
- b. Almacenar el material sobre estantes reforzados que soporten su peso para evitar un colapso y destrucción del mismo.
- c. En todo momento el fósil quedará acompañado de una ficha de catalogación que especifique los datos de relevancia obtenidos durante su estudio.
- d. Procurar guardar el material en un lugar seco a una temperatura constante y libre de humedad.
- e. El área de resguardo deberá estar ventilada, con poca iluminación para evitar la formación y crecimiento de hongos y bacterias; si es posible se recomienda que el almacén esté cerrado herméticamente.
- f. Puesto que el material aún está sujeto a preparación y montaje, se espera que la exhibición del espécimen se efectúe mediante réplicas del mismo tanto en el Laboratorio de Paleontología del Área Ciencias de la Tierra de la UASLP, como en el Instituto de Geología de la misma universidad. Debido a que el montaje del ejemplar original puede ocasionar un daño por caída conforme al peso, esto conllevaría en su destrucción; y lo que se pretende además, es no lastimar a personal que se encuentre a su alrededor durante un posible incidente.
- g. Con el duplicado fósil que se genere a futuro, se podrá comparar información con otras instituciones por medio del intercambio científico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguillón-Robles, A., 1994; Estructura interna de los domos riolíticos del Área del Tepetate, S.L.P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de geología, Folleto Técnico No. 118, 58 p
- Aguayo, C., Bello, M., Ruíz, V., 1985; Estudio Estratigráfico Sedimentológico del Jurásico Superior en la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Inst. Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Proy. C-1153 (inédito).
- Alvarado-Ortega, J., 1998, Ichthyodectiformes mexicanos: un análisis de su diversidad, in Carranza-Castañeda O., Córdoba-Méndez, D. A. (eds.), Avances en Investigación; Paleontología de Vertebrados: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, publicación especial, p. 109-119.
- Alvarado-Ortega, J., 2004, Description and relationships of a new ichthyodectiform fish from the Tlayúa Formation (EarlyCretaceous: Albian), Puebla, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology*, 24(4), 802-813.
- Alvarado-Ortega, J., 2005, Sistemática de los peces Ichthyodectiformes de la Cantera Tlayúa, Puebla, México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, doctoral thesis, 308 p.
- Alvarado-Ortega, J., Blanco-Piñón, A., Porrás-Múzquiz, H., 2006a, Primer registro de Saurodon (Teleostei: Ichthyodectiformes) en México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(1), 107-112.
- Álvarez del Villar, J., Álvarez, T., Álvarez-Castañeda, S. T., 2007, Diccionario de anatomía compara de Vertebrados: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional (IPN), Impreso en México por IPN, 255 p.
- Applegate, S.P., 1996, An overview of the Cretaceous fishes of the quarries near Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, in Arratia, G., Viohl, G. (eds.), *Mesozoic Fishes, 1. Systematics and Paleoecology*: München, Germany, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 529-538.
- Armstrong, H. A.; Brasier, M. D, 2005, *Microfossils*: Oxford, UK., first edition 1980, Oxford, UK., Blackwell Publishing, 304p.

- Barboza-Gudiño, J. R., 1989; Geologische Kartierung (1: 10,000) des Gebretes "Cañón General", Sierra de Catorce, San Luis Potosí / México.mit besonderer Berücksichtigung des para-aber jurassichen Grundgebirges: Clausthal Alemania, Universitat Clausthal, Institut fur Geologie und Paleontologie, levantamiento geológico e informe para obtener el grado de diploma, 107 p. (inédito).
- Barboza-Gudiño, J. R., Tristán-González, M., Tórres-Hernández J. R., 1998; The Late Triassic-Early Jurassic active continental margin of western North America in north eastern Mexico.- Geofísica International, Vol. 37, Num. 4, p 283-292. México, D. F.
- Barboza-Gudiño, J. R., Tristán-González, M., Torres-Hernández, J. R. 1999; Tectonic setting of pre-Oxfordian units from central and northeastern Mexico: A review., in Bartolini, C., Wilson, J. L. and Lawton, T. F., eds. Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Geology Society of America Special Paper 340, p. 197-210.
- Bermudo-Meléndez, 1977, Paleontología, Tomo 1. Parte general e invertebrados: Madrid, España, Editorial Paraninfo, 725 p.
- Bermudo-Meléndez, 1979, Paleontología, Tomo 2. Vertebrados, Peces, Anfibios, Reptiles y Aves: Madrid, España, Editorial Paraninfo, 546 p.
- Blanco, A., Cavin, L., 2003, New Teleostei from the agua Nueva Formation (Turonian), Vallecillo (NE Mexico): Comptes Rendus Palevol, 2, 299-306.
- Blanco-Piñón, A., Alvarado-Ortega, J., 2007, Review of *Vallecillichthys multivertebratum* (Teleostei: Ichthyodectiformes), a Late Cretaceous (early Turonian) "Bulldog fish" from northeastern Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 24 (3), 450-466.
- Böse, E., 1923; Vestiges of an ancient continent in northeast Mexico: American Journal Science, 5a Serie, v. 6, p 127 – 136.
- Burkhardt, C., 1905; La Faune Marine du Trias Superieur de Zacatecas: Bol. Instituto Geológico de México No. 21 pp. 5-38.
- Burkhardt, C., Scalia, S., 1906; Sobre el descubrimiento del Triásico Marino en Zacatecas: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V. 2, p. 43 – 45.

- Burkhardt, C., Scalia, S., 1906; Geologie des Environs de Zacatecas: X Congreso Geológico Internacional. Guía de Excursiones No. 16, pp. 1-45.
- Burkhardt, C., 1910; Estudio geológico de la Región de San Pedro del Gallo: Instituto Geológico de México, p. 307 – 357.
- Burkhardt, C., 1912; Faunes Jurassiques et Cretaciques de San Pedro del Gallo: Instituto Geológico de México, Boletín 29, 264 p.
- Burkhardt, C., 1930; Etude Synthetique sur le Mesozoique Mexicain: Memorie de la Société paléontologique Suisse, v. 49, p. 1 – 123, v. 50, p. 123 – 280.
- Butler, J. H., 1972; Geology of the Charcas Mineral District San Luis Potosí, México: Colorado, School of Mines, tesis de Maestría, 170 p. (inérita).
- Campa-Uranga, M. F., Coney Peter, J., 1983, Tectonostratigraphic Terranes and Mineral Distribution in Mexico: Can. Jour. of Science, 20, 1040-1051.
- Cantú-Chapa, A., 1969; Una nueva localidad del Triásico superior Marino en México: Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.), Revista, v. 1, p. 71 - 72.
- Castillo, A. del, Aguilera, J. G., 1895, Fauna fósil de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí: Comisión Geol. México (Inst. de Geol. México), Bol. 1, 55p., 24 lám.
- Carreño, A. L.; Perilliat M. del C.; González-Arreola, C.; Applegate, S.; Carranza-Castañeda, O.; Martínez-Hernández, E., 1989, Fósiles Tipo Mexicanos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 542 p.
- Carrillo-Bravo, J., 1961; Geología del Anticlinorio Huizachal Peregrina al noreste de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 13, 100 p.
- Carrillo-Bravo, J., 1968; Reconocimiento Geológico Preliminar de la Porción Central del Altiplano Mexicano: Informe inédito de Petróleos Mexicanos, Subgerencia de Exploración, Zona Norte.
- Carrillo-Bravo, J., 1971, La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Bol. AMGP, 23 (1-6), 1-113.
- Carrillo-Bravo, J., 1982, Exploración petrolera de la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 34 (1), 21–46.

- Chávez-Aguirre, J. M., 1968; Bosquejo Geológico de la Sierra de Peñón Blanco, Zacatecas Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, 78 p. (inédita).
- Consejo de Recursos Minerales (COREMI), 2002, Carta Geológico–Minera y Geoquímica de la Hoja Presa de Santa Gertrudis F 14 A-33, escala 1: 50 000, San Luis Potosí, S.L.P., editada en convenio con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), 1 mapa.
- Cope, E.D., 1871, On two extinct forms of Physostomi of the Neotropical region: Proceedings of the American Philosophical Society, 12, 52-55.
- Cordoba-Méndez, D. A., 1965; Hoja Apizolaya 13 R – 1 (9), con resumen de la geología de la Hoja Apizolaya, Estados de Zacatecas y Durango: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de geología.
- Cuevas-Pérez, E., 1985; Geologie des älteren mesozoicums in Zacatecas und San Luis Potosí, Mexiko (Ph. D. Thesis): Universität Marburg, Alemania, 189 p.
- De Ciochowski, J. D., 1967, Investigations of food and feeding habits of larvae and juveniles of the Argentine anchovy *Engraulis anchoita*. - Calif. Coop. Ocean. Fisher. Invest., Rept.11: 72-81.
- Dunham, R. J., 1962, "Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture." Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 1: 108-121.
- Escalante-Martínez, J. L., 2006, Análisis Estructural de los Afloramientos de la Secuencia Siliciclástica Marina del Triásico Superior en el Área de Presa Santa Gertrudis, S.L.P., Instituto de Geología-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Área Ciencias de la Tierra, Trabajo Recepcional, 123 p.
- Flores-Castillo, C. M., 2007, Manual Para La Preparación de Vertebrados Fósiles: San Luis Potosí, S.L.P., Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Área Ciencias de la Tierra, Trabajo Recepcional, 126 p.
- Flügel, E., 1982; Microfacies Analysis of Limestones. Springer-Verlag, Berlin.
- Flügel, E., 2004; Microfacies of Carbonates Rocks, Analysis, Interpretation and Application: Berlin Heidelberg, Germany, Institute of Paleontology, Loewenichstrasse, Germany, editorial Springer, 1004 p.

- Folk, R. L., 1959, "Practical Petrographic Classification of Limestones." *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 43: 1-38.
- Folk, R. L., 1962, "Special Subdivision of Limestone Types." *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, 1: 62-84.
- Freidland, K. D., 1985, Functional morphology of the branchial basket structures associated with feeding in the Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus* (Pisces: Clupeidae). - *Copeia* 4: 1018-1027.
- Friedman, M., Shimada, K., Martin L. D., Everhart, M. J., Liston, J., Maltese, A., Triebold, Michael, 2010, 100-Million-Year Dynasty of Giant Planktivorous Bony Fishes in the Mesozoic Seas: *Science*, 327 (5968), pp 990-993.
- Gallo, Padilla-Gómez, E., Contreras, B. Y Cedillo, E., 1993; Hallazgos paleontológicos del Triásico Marino en la región central de México: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, v. 6, No. 1, p. 1 – 9.
- García-Gutiérrez, M., 2003, *Glosario de Términos Geológicos*: San Luis Potosí, S.L.P., México, Editado por Consejo de Recursos Minerales (CRM) y Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C. (AIMMGM, A.C.), 796 p.
- Gibson, R. N., 1988, Development, morphometry and particle retention capability of the gill rakers in the herring, *Clupea harengus* 1. - *J. Fisher. Biol.* 32: 949-962.
- Gómez-Luna, M. E., Cedillo-Pardo, E., Contreras y Montero, B., Gallo-Padilla, I., Martínez-Cortés, A., 1997; *El Triásico Marino en la Mesa Central de México: Implicaciones paleogeográficas: II Convención sobre la evolución geológica de México y recursos asociados (Simposio y Coloquio)*: Instituto de Investigación en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Hidalgo e Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 67-71.
- Guel-Díaz de León., A., 1985; *Monografía: Mesa Central y Plataforma de Valles-San Luis Potosí*: Petróleos Mexicanos, Superintendencia General de Distritos de Exploración Petrolera, Zona Norte. Publicación inédita.
- Guel-Díaz de León., A., Tenorio-Lavin, J. L., 1982; *Compendio de Estudios Realizados en el Pozo Tapona No.1*: Petróleos Mexicanos, Superintendencia General de Distritos de Exploración Petrolera, Zona Norte. Publicación inédita.

- Gutiérrez-Amador, M., 1908; Las capas cárnicas de Zacatecas: Boletín de la sociedad Geológica Mexicana, v. 4, p. 29 – 35.
- Humphrey, W. E., 1949; Geology of the Sierra de Los Muertos Área, México: Geol. Soc. of América Bull., Vol. 60, pp. 80-176
- Humphrey, W. E., Díaz, T., 1956; Jurassic and Lower Cretaceous Stratigraphy and Tectonics of Northeast Mexico: Petróleos Mexicanos, Informe Inédito.
- Imlay, R. W., 1936; Geology of the Western Part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: Geol. Soc. of America Bull. Vol. 47, pp. 1091-1152.
- Imlay, R. W., 1938; Studies of the Mexican Geosyncline: Geol Soc. of America Bull. Vol. 49, pp.1657-1662.
- Imlay, R. W., 1943; Jurassic formations of the gula region: American Association of Petroleum Geologist Bulletin, v. 27, p. 407-1533.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2002, Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí: Dirección General de Difusión, Aguascalientes, Ags., México, Editorial ISBN 970-13-3776-X, texto y anexo cartográfico, 116 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2002, Carta Estatal de Climas para el Estado de San Luis Potosí, escala 1:700,000: México. D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2003, Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí, Digital Windows/Macintosh (cd-rom), ver. ?: Dirección General de Difusión, Aguascalientes, Ags., México, Editorial ISBN 970-13-4321-2, 1 cd-rom, programa informático.
- Jiménez-Camargo, D. I., Porres-Luna, R.P., Rivera-Carranco, E., 1982; Geología de la Región Charcas-Venado, San Luis Potosí: Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Aranda-Gómez, J. J., 1982; Revisión Estratigráfica del Cenozoico en la Parte Central del Estado de San Luis Potosí: Folleto Técnico no. 85, Instituto de Geología y Metalurgia UASLP.

- Labarthe-Hernández, G., Jiménez-López, L., 1991; Cartografía Geológica 1:50,000 de las Hojas Cerritos de Bernal, Santo Domingo, El Estribo y La Herradura, Estado de San Luis Potosí, México: Folleto Técnico N. 113, Instituto de Geología UASLP.
- Lambers, P. H., 1992, On the Ichthyofauna of the Solnhofen Lithographic Limestone (Upper Jurassic, Germany) – Proef-schrift Rijksuniversiteit Groningen: 1-336.
- Lazaro, X., 1987, A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. - *Hydrobiologia* 146: 97-167.
- Liston, J., 2004, An overview of the pachycormiform Leedsichthys. In Arratia, G. & Tintori, A. (eds) *Mesozoic Fishes 3 - Systematics, Paleoenvironments and Biodiversity*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München), pp. 379-390.
- Liston, J., 2008, A review of the characters of the edentulous pachycormiforms Leedsichthys, Asthenocormus and Martillichthys nov. gen. In Arratia, G., Schultze, H.P., Wilson, M.V. (eds) *Mesozoic Fishes 4 – Homology and Phylogeny*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München), pp. 379-390.
- López-Infazón, M., 1986; Estudio petrogenético de las rocas ígneas en las formaciones Huizachal y Nazas: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 47, p. 1-42.
- Lugo-Hubp, J., 1990; El Relieve de la República Mexicana: *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, Vol. 9 No.1, pp. 82-111.
- Maldonado-Koerdell, M., 1948; Nuevos datos geológicos y paleontológicos sobre el Triásico de Zacatecas: *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, v. 5, No. 3 – 4, p. 292 – 294.
- Maldonado-Koerdell, M., 1956, Peces fósiles de México, III. Nota preliminar sobre peces del Turoniano superior de Xilitla, San Luis Potosí, México: *Ciencia, México*, 16 (1-3), 31-36.
- Martínez-Cardona, A., Malpica-Cruz, R., 1983; Estudio Estratigráfico–Sedimentológico de la Formación Zacatecas en la Cuenca del Centro de México: Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.), Informe interno, C – 1134, 33 p. (inédita).
- Martínez-Pérez, J., 1972; Exploraciones geológicas del Área, El Estribo – San Francisco (Hojas K – 8 y K – 9): *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v. 24, p. 325 – 402.

- Martill, D. M., 1988, *Leedsichthys problematicus*, a giant filter-feeding teleost from the Jurassic of England and France. - *N. Jb. Geol. Paläontol. Mh.* 1988 (11): 670-680.
- Mixon, R. B., Murray, G. E., Díaz-González, T., 1959; Age and Correlation of the Huizachal Group (Mesozoic) State of Tamaulipas: Mexico. *Amer. Assoc. of Petroleum Geologists Bull.* Vol. 43 pp. 757-771.
- Muir, J. M., 1936; Geology of the Tampico region Mexico: American Association of Petroleum Geologists, 280 p.
- Nelson, G. J., 1967, Epibranchial organs in lower teleostean fishes. - *J. Zool.* 153: 71-89.
- Ovalles-Damián, E., Alvarado-Ortega, J., Blanco-Piñón, A., 2006, Los peces fósiles del Cretácico inferior de Ocozocuatla, Chiapas, in *Memorias del X Congreso Nacional de Paleontología: México, Sociedad Mexicana de Paleontología*, p.61.
- Peck, J. L., 1893), On the food of the menhaden. - *Bull. U.s. Fish. Commn.* 13: 113-126.
- Perea-Martínez, J. J., 1961; Bosquejo geológico del Distrito Minero de zacatecas: Consejo de Recursos Naturales no Renovables (México), Boletín 52, 38 p.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988a, Estratigrafía de la República Mexicana: Mesozoico, Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, 229 p.
- Reaser, D. F., Bacon, R. W., Enciso De La Vega, S., 1989; Geology of Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: Abstract for 28 th International Geology Congress, v. 2 of 3, Washington. D. C. p. 2 – 679 - 2 – 680.
- Rivera-Mendoza, O., Cham-Amaral, C., Espinoza-Aramburu, E., 1999; Informe de la Carta Geológico Minera y Geoquímica Presa de Santa Gertrudis (F14 – A 33), Escala 1:50,000, Estado de San Luis Potosí. Editada por el COREMI en convenio con la Facultad de Ingeniería de la UASLP.
- Romer, A. S., 1976, *Osteology of the Reptiles*: University of Chicago Press, 795 p.
- Ross, M. A., 1979; Stratigraphy of the Tamaulipas Limestone, North-eastern Mexico: M.S. Thesis, University of Texas at Arlington, 96 p. (inédita).

- Sánchez-López, M., Cabib-Levi, L. (C.F.E.), 1983, 1984, Traducción Código Estratigráfico Norteamericano: Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica. Auspiciado por: U.N.A.M., S.G.M., A.M.G.P., México D.F., 87p.
- Sanderson, S. L., Wassersug, R, 1990, Suspension-feeding vertebrates. - Sci. Amer. 262: 68-73.
- Silva-Romo, G., 1993; Estudio de la Estratigrafía y Estructuras Tectónicas de la Sierra de Salinas, Estados de S.L.P. y Zacatecas, Tesis de Maestría en Ciencias (Geología), Facultad de Ciencias, División de Estudios de Postgrado, UNAM.
- Stephenson, L. W., 1921, Some Upper Cretaceous Shells of the Rudist Group From Tamaulipas, Mexico: U.S. Nat. Mos. v. 16, Art 1. 28.
- Stewart, J.H., 1978; Basin and Range structure in Western North America a review: Geological Society of America Memoir, v. 152, p. 1 – 30.
- Tristán-González, M., 1986; Estratigrafía y tectónica del graben de Villa de Reyes, en los Estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto Técnico 107, 91 p.
- Tristán-González, M., Torres-Hernández, J. R., 1992; Cartografía Geológica 1:50,000 de la Hoja Charcas, Estado de San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología. Folleto Técnico No. 115, 94 p.
- Tristán-González, M., Torres-Hernández, J. R., 1994; Geología de la Sierra de Charcas, Estado de San Luis Potosí, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 11 No. 2, Instituto de Geología UNAM.
- Tristán-González, M., Torres-Hernández, J. R., Mata-Segura, J. L., 1995; Geología de la Hoja Presa de Santa Gertrudis: S.L.P., México. Folleto Técnico No. 122, Instituto de Geología UASLP.
- Van Den Berg, C., Van Den Boogarrt, J. G. M., Sibbing, F. A. & Osse, J. W. M., 1994, Implications of gill arch movements for filter-feeding: an X-ray cinematographical study of filter-feeding white bream (*Blicca bjoerklia*) and common bream (*Abramis vrarnn*). - J. expel'. Biol. 191: 257-282.
- Villaseñor, A.B., Silva-Martínez, L.E. Olóriz, F., Blanco, A., Alvarado-Ortega, J., 2006, Nuevo registro de peces Jurásicos en México, in Memorias del X Congreso Nacional de Paleontología: Sociedad Mexicana de Paleontología, p. 137.

- Wilson, J. L., 1975, Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag. New York.
- Yasuda, F., 1960, The relationship of the gill structure and food habits of some coastal fishes in Japan. - Rec. Oceanogr. Works Japan 5: 139-152.
- Zavala-Monsiváis, A., 2000; Petrografía de Rocas Volcánicas Pre-Oxfordianas en la Parte Occidental del Estado de San Luis Potosí: Trabajo Recepcional, Facultad de Ingeniería de la UASLP.
- Zwansiger, J. A., 1978; Geología Regional del Sistema Sedimentario Cupido: Bol. AMGP, Vol. XXX, Números 1 y 2. Pp.1-56.

ANEXOS

(Plano cartográfico del área de estudio y CD con información digital de este trabajo).