



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y
NATURALES

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

*"Bioestratigrafía de conodontos del
Paleozoico inferior de la zona del cerro El
Santísimo, Arivechi, Sonora"*

TESIS

Que para obtener el Título de:
Licenciado en Geología



PRESENTA:

ANDRÉ BECUAR DANIELS

Hermosillo, Sonora, marzo de 2019

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DEDICATORIA

Este espacio es para declarar que la presente tesis es producto del esfuerzo, dedicación y apoyo que mi madre Soyna Angélica Daniels Encinas, mi padre Julio Cesar Becuar Peña y mi padrastro José Homero García por el gran apoyo económico, ético y emocional con el cual me han criado, sabiendo que todo les cuesta, siempre estaré en deuda y eterna gratitud por ayudarme, tolerarme y comprenderme; siempre hicieron lo posible para guiarme y facilitarme mi camino para terminar la carrera. Esto es para decirles que este trabajo también es suyo.

A mi primo Elizard González Becuar, por ser él quien me hablase y me hiciera descubrir poco a poco en mí adolescencia sobre la geología, quien me diera una idea de lo que pudiera dedicar mis estudios universitarios y por ayudarme con mis dudas respecto a esta temática.

AGRADECIMIENTOS

Para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por ayudarme dándome un apoyo monetario de beca en el período de junio a agosto del 2018-1.

Al proyecto CONACyT N° 235970 “La Revolución del Cámbrico y la Gran Radiación del Ordovícico en el Norte de México y Oaxaca” a cargo del Dr. Juan José Palafox Reyes del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por la financiación de esta tesis.

Al Dr. Juan José Palafox Reyes, por su gran paciencia, por su gran gesto de enseñanza en la geología, paleontología, lecciones de vida, apoyo brindado durante estos últimos 3 años y por la confianza que me ha conferido durante los momentos de seriedad y júbilo durante la realización de este trabajo, viajes para la participación de mis compañeros y mía en la RAUGM 2017 y RAUGM 2018.

Al Dr. Francisco Cuen Romero por siempre darme sus enseñanzas, apoyo académico con material paleontológico, en la realización de ésta tesis, por consejos y siempre mantener una actitud apacible y buena onda conmigo.

A la M.C. Margarita de la O Villanueva por darme las facilidades para la utilización del Laboratorio de Sedimentología de la UNISON y por aportarme buenos consejos y su ayuda siempre que estaba en sus posibilidades.

Al M. C. Alfredo Ochoa Granillo por sus observaciones y consejos sobre el trabajo, además de siempre ser amigable conmigo y con el alumnado durante los períodos que nos impartió clases.

A la M. C. Dulce Raquel Reyes Montoya por su gran ayuda en el conocimiento sobre los conodontos, su extracción e investigación de estos mediante información facilitada por ella, y por ser una gran persona conmigo.

A todos mis compañeros, amigos y estudiantes del Departamento de Geología por sus apoyo y amistad durante la carrera. Especial agradecimiento a aquellos que me ayudaron durante las salidas de campo Isaí Alfonso Castillón Cruz, Luis Salvador Bustillos, Erick Alberto Méndez Hurtado, al equipo intrépido cuyo nombre es conocido en el mundo del hampa como “los Fundas” conformado por Sergio Alberto Escalante Mendivil y Mario Iván Escalante Mendivil (“Los Hermanos Escalante”), Rafael Ángel Córdova Camou e Isaac Damián Mujica Vázquez.

INDICE

RESUMEN.....	1
1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivos específicos.....	3
3. CONSIDERACIONES PARA REALIZACIÓN DE TESIS.....	3
4.- METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	4
4.1.- Trabajo de campo.....	5
4.2.- Trabajo de laboratorio.....	6
4.3.- Dentro del trabajo de la microscopía óptica.....	7
5.- INFORMACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.....	9
5.1.- Localización.....	9
5.2.- Vías de comunicación.....	9
6.- FISOGRAFÍA.....	10
6.1.- Provincia de Sierra Madre Occidental.....	10
6.2.- Subprovincia de Sierras y Cañadas del Norte.....	10
7.- GEOMORFOLOGÍA.....	13
8.- TRABAJOS PREVIOS SOBRE AFLORAMIENTOS ORDOVÍCICOS EN SONORA.....	16
9.- GEOLOGÍA REGIONAL.....	18
10. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	22
10.1. formación El Santísimo.....	24
11.- RESULTADOS.....	27
11.1.- Descripción de estratos no medidos.....	27
11.2.- Descripción de estratos medidos.....	27
11.3.- Clasificación de muestras en lámina delgada.....	30
12.- GENERALIDADES DE LOS CONODONTOS.....	34
13.- PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA.....	39
14.- DISCUSIONES.....	55
15.- CONCLUSIÓN.....	56
REFERENCIAS.....	57

INDICE DE IMÁGENES

Figura 1. A) Portaobjetos con los conodontos obtenidos de muestras SB-O y SB-1. B) Conodontos en vista de estereoscopio.	7
Figura 2. Estereoscopio LEICA modelo EZ4 HD.	8
Figura 3. Toma de fotografías de elementos conodontales con MEB.	8
Figura 4.- Localización del área estudio de Arivechi. A) Ubicación al centro-este de Sonora, México. B) Ubicación del área de la localidad de Arivechi. C) Área de estudio dentro de recuadro de marco negro (tomada de carta topográfica H12D56, INEGI). La línea roja determina la sección realizada.	9
Figura 5. Mapa de provincias fisiográfica del estado de Sonora (Lancaster <i>et al.</i> , 1987; Lugo-Hubp, 1990).	12
Figura 6. Mapa geomorfológico del estado de Sonora (tomado de Lugo-Hubp, 1990).	15
Figura 7. Mapa geológico de la zona de estudio.	23
Figura 8. Afloramientos de calizas color gris oscuro intercalados con laminaciones de lutitas color gris claro con estratificación mediana semiparalela.	25
Figura 9. Afloramientos de calizas oscuras con tonos rojizos en estratos de medianos a gruesos con espacios de múltiples laminaciones de color gris con fracturas rellenas de calcita.	25
Figura 10. Afloramientos de calizas grises claras con rosado con laminaciones de lutita color crema con pliegues sinsedimentarios.	26
Figura 11. Columna estratigráfica de sección en El cerro el Santísimo, Arivechi, con corrección de espesor usando una inclinación de echado promedio de la sección de 45° al SE.	29
Figura 12. Corte de placa columnar de crinoide recristalizado de dimensiones milimétricas obtenida en la lámina SB-9, en la parte superior de la columna estratigráfica. Vista con lente 4X.	31
Figura 13. Corte de placa columnar de crinoide visto con nicoles cruzados; presenta dolomitización en gran medida sobre todo el margen interno debido a una recristalización de cristales de dolomita remplazando la esparita. Lamina SB-9. Vista lente 4X.	32
Figura 14.- Muestra SB-8 mostrando recristalización de esparita del afloramiento con óxidos de hierro con proceso de dolomitización. Vista con lente 4X.	32
Figura 15. Clasificación morfológica básica de los conodontos: a) conodontos simples, b) conodontos compuestos y c) conodontos de plataforma, con algunos términos descriptivos. Obtenido de Blanco-Ferrera y Sanz-López (2012).	35
Figura 16. Nomenclatura de los elementos coniformes (A) y ramiformes (B). Modificado de Braiser (1980).	37
Figura 17. Secciones axiales de conodontos mostrando el crecimiento y su estructura interna. Modificado de Braiser (1980) por J.I. Canudo (2002).	37

Figura 18. Lámina con elementos conodontales encontrados en muestras en sección con línea de escala equivalente a 200 μm	40
Figura 19. Tabla de Biozonas de conodontos del cerro El Santísimo.....	54

RESUMEN

Se estudió la geología del oeste de Arivechi, Sonora, que está constituida por rocas sedimentarias del Paleozoico inferior, cuya litología está conformada por lutita y caliza en donde se encuentra el contenido fosilífero de interés de ésta tesis. El trabajo se centra en la investigación de una secuencia de rocas calcáreas del Ordovícico.

Se reporta la presencia de elementos conodontales dentro de las rocas que forman la secuencia del cerro El Santísimo, pertenecientes a la formación El Santísimo, la cual está constituida principalmente por lutita calcárea, caliza con alternancia de horizontes laminares arcillosos en su mayor parte y caliza con pedernal en la parte superior de la secuencia. El rango estratigráfico obtenido mediante la identificación de los fósiles corresponde desde el Ordovícico Inferior determinado por la Zona *Rossodus manitorensis* y el inicio del Ordovícico Superior por la Zona *Baltoniodus alobatus*.

1.- INTRODUCCIÓN

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior en México desempeñan un papel muy importante en temas de investigación geológica, ya que el Cámbrico y el Ordovícico solo han sido reportados en Sonora, Sinaloa, Baja California, Chihuahua y Oaxaca, presentando numerosos estudios estratigráficos nacionales e internacionales (Sarmiento y García-López, 1993).

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior han sido poco estudiadas en la región de Arivechi, Sonora, siendo Almazán-Vázquez (1989) quien propuso informalmente por primera vez la formación El Santísimo, en el cerro del mismo nombre donde se describe una secuencia de lutita calcárea en la base y rocas calcáreas en la parte media y superior en su descripción bioestratigráfica del Ordovícico Inferior. El trabajo más reciente de esta zona fue realizado por Reyes-Montoya (2017) donde se muestra una minuciosa caracterización de la secuencia calcárea y descripción de su contenido micropaleontológico.

El trabajo se enfoca principalmente en la bioestratigrafía de la secuencia marina del Paleozoico inferior que aflora en el cerro El Santísimo (fm. El Santísimo). Las determinaciones paleontológicas se realizaron mediante el uso de conodontos, un grupo de organismos extintos pertenecientes al Phylum Chordata, caracterizados por una serie de piezas provenientes de sus aparatos dentales mineralizados de composición quitinofosfática (apatito y materia orgánica) que son los únicos elementos recuperables como fósiles índices y guías del Paleozoico al Triásico, para este grupo

2. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo de tesis es el de contribuir con el conocimiento de la bioestratigrafía, así como la investigación y uso de conodontos dentro de la paleontología del Ordovícico en el centro-este de Sonora y noroeste de México, estudiando la región de Arivechi, así como el cambio de la cartografía geológica de la parte poniente de ésta localidad con el fin de hacerla más precisa y útil para su manejo en futuras investigaciones en este campo.

2.1 Objetivos específicos:

- Descripción de la presencia de elementos conodontales en una sección medida e identificar ejemplares de especies de conodontos a lo largo de la sección.
- Elaboración de una columna bioestratigráfica de la litología calcárea del cerro El Santísimo a lo largo del arroyo Bachata, que pasa por su cara sur.

3. CONSIDERACIONES PARA REALIZACIÓN DE TESIS.

El área de estudio está poco estudiada por lo que resulta interesante para análisis bioestratigráficos usando conodontos como fósiles guía por lo siguiente:

1. Cualquier aporte que constituya una mejor caracterización descriptiva de alguna zona con nueva información sobre la litología, contenido fósil y estructuras que podrían verse reflejadas en el campo y el aporte de mejoras en la geología a representar en un mapa.
2. El enfoque para realización de este trabajo es la descripción de las unidades litológicas media-superior con mayor enfoque en los paquetes de caliza de la parte basal y superior, donde se pudiese diferenciar cambios de ambiente, regresiones, bioturbaciones, además de la afinidad de los organismos fosilíferos de posicionarse en determinados ambientes, viéndose reflejado en la cantidad de ejemplares de conodontos obtenidos después de que las muestras pasen por el debido proceso de extracción de los fósiles.
3. Describir características con base a la forma y tamaño de los conodontos para poder determinar las especies a los cuales estos pertenecen, permitiéndonos determinar las biozonas que se puedan designar en los estratos muestreados.

4.- METODOLOGÍA Y MATERIALES.

- 1.- Búsqueda de bibliografía referente a la temática y área de estudio, así como sus alrededores.
- 2.- Realización de exploración del área de estudio y planeación de rutas de trabajo de campo.
- 3.- Realización de una columna estratigráfica en el cerro El Santísimo al oeste de Arivechi.
- 4.- Recolección de muestras de roca con un peso promedio de 3 kg para un posterior proceso de extracción de fósiles.
- 5.- Procesamiento de muestras de rocas calcáreas en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora para extracción de elementos conodontales, utilizando un estereoscopio para su recolección, así como el estudio de la fauna fósil con la ayuda de microscopio electrónico de barrido (MEB) y microscopio petrográfico.
- 6.- Integración de información, análisis e interpretación de datos.

4.1.- Trabajo de campo.

Se realizaron dos estancias de campo en la parte oeste de Arivechi, Sonora, México. La primera en febrero del 2018 con la finalidad de determinar los caminos y recorridos más apropiados para la sección mediante una exploración del cerro El Santísimo y sus alrededores con la finalidad de recabar información generalizada de campo, para poder llegar a una estrategia y planeación para una posterior realización de sección del área de estudio. La segunda estancia se dio en el mes de marzo del 2018, en la cual se midió una sección sobre el arroyo Bachata que corre por la parte sur del cerro El Santísimo

Se realizó una sección medida con un rumbo de 17° NE-SW a lo largo de lado SE del acantilado del cerro El Santísimo por el arroyo Bachata que se crea por una falla normal entre el Santísimo y la parte NE del cerro El Encinal. La sección constó de 11 muestras con siglas SB-0, SB-1, hasta SB-10; y otras tres de puntos de reconocimiento con siglas STM-1, STM-2 y STM-3.

A lo largo de la sección que fue medida con una cinta métrica de 50 metros de largo, observando cambio de color, tamaño y rasgos distintivos al determinar puntos útiles para la colecta de muestras con un peso aproximado de 3 kg con la finalidad que estas fuesen útiles para una posterior búsqueda de conodontos, y de muestras pequeñas para la elaboración de láminas delgadas para contemplar una clasificación adecuada de litología y contenido en microfósiles.

En cada punto de muestreo se realizó una descripción de los afloramientos en cuanto a su litología, espesores de estratos, medición de rumbo y echado, estructuras sedimentarias, búsqueda de contenido fósil y toma de coordenadas de cada punto de muestreo de la sección geológica.

4.2.- Trabajo de laboratorio.

Posterior al proceso de trabajo de campo, se procedió con la disolución de las muestras de caliza obtenidas para la extracción de conodontos en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Los elementos conodontales que se buscan tienen una composición de fosfato de calcio, resistentes al ataque del ácido fórmico, solo ataca a la parte de carbonato de calcio de la muestra, disolviéndose en gran parte la roca y dejando solamente los sedimentos residuales útiles para la búsqueda de restos fósiles. El procedimiento es el siguiente:

1. Se fragmenta la roca caliza en trozos de aproximadamente 3 cm de diámetro, para poder agilizar el proceso de disolución.
2. Se pesan 0.675 kg de la muestra y se introducen en un recipiente con 7.2 litros de agua, al cual, como paso final se le agregaron 0.7 litros de ácido fórmico (CH_2O_2).
3. Se deja la muestra y la mezcla de agua y ácido por un período de 24 horas dentro de una campana de extracción.
4. Una vez que el período de disolución de la muestra termine, se lava el sedimento fino residual del proceso en una pila de 3 tamices, con una luz de malla normalmente de 1 mm, 0.6 mm y 125 μm bajo un flujo constante y moderado de agua.
5. El ácido restante de la disolución tendrá que ser almacenado en una cubeta y posteriormente neutralizado utilizando bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
6. Se pesan los fragmentos de roca restantes que no se lograron disolver para poder ser utilizados para próximas disoluciones de la misma muestra.
7. El sedimento que quedó atrapado en los tamices de 0.6 mm y 125 μm se deja secar al aire en una capsula de porcelana.
8. Finalmente, al estar totalmente seco el sedimento se almacena en un contenedor y se le coloca una etiqueta con las siglas o leyenda de la muestra para su posterior búsqueda de conodontos con la ayuda de una cuadrícula numerada y visualizada con un estereoscopio.

Se disolvieron mediante el método descrito un total de 14 muestras (11 de sección y 3 de muestras de exploración), de 3 kg (aproximadamente) cada una, de la sección realizada en el cerro El Santísimo, de las cuales todas las muestras SB-0, SB-1, SB-2, SB-3, SB-4, SB-5, SB-6, SB-7 y SB-8 proporcionaron conodontos bien conservados para su posterior identificación taxonómica.

4.3.- Dentro del trabajo de la microscopia óptica.

Se analizaron las láminas delgadas de las muestras bajo el lente de un microscopio petrográfico 4X marca AmScope y se fotografiaron con la cámara integrada de este microscopio (Figuras 12,13 y 14).

Para la búsqueda de los elementos conodontales se utilizó un estereomicroscopio marca LEICA modelo EZ4 HD (figura 2), donde se observaban porciones de sedimentos sobre cuadrículas enumeradas para facilitar su detección, para posteriormente ser almacenados en portaobjetos con la leyenda de la muestra de origen y observaciones de riqueza en fósiles, como se puede apreciar en la figura 1.

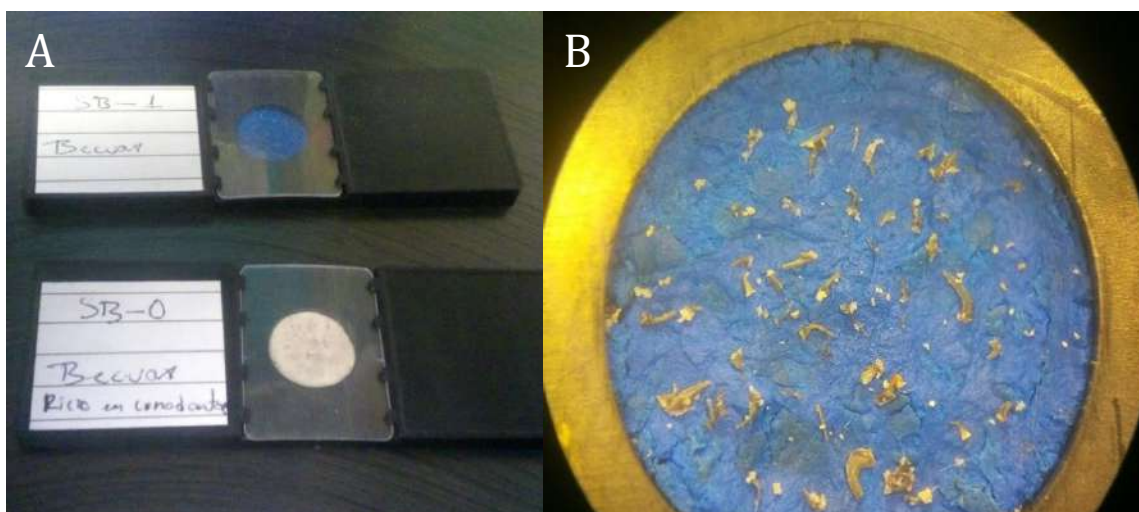


Figura 1. A) Portaobjetos con los conodontos obtenidos de muestras SB-O y SB-1. B) Conodontos en vista de estereoscopio.



Figura 2. Estereoscopio LEICA modelo EZ4 HD.

Para poder proseguir con la identificación taxonómica, se seleccionaron los mejores ejemplares representativos de cada muestra y se prepararon para fotografiarlos en el microscopio electrónico de barrido (MEB) modelo JSM-5410LV (figura 3).



Figura 3. Toma de fotografías de elementos conodontales con MEB.

5.- INFORMACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

5.1.- Localización

El área objeto de estudio, se encuentra situada en la parte este del estado de Sonora, al noroeste de la República Mexicana, a 8 km al oeste del pueblo de Arivechi, Sonora, México y está limitado por las siguientes coordenadas UTM:

- Esquinas NW: 668,000 m E, 3,199,000 m N; NE: 671,000 m E, 3,199,000 m N.
- Esquinas SW: 668,000 m E, 3,196,000 m N; SE: 671,000 m E, 3,196,000 m N.

5.2.- Vías de comunicación

El acceso principal es la carretera estatal No.20 de Hermosillo al municipio de Sahuaripa, Sonora, cubriendo una distancia de 225 km hasta la cabecera municipal (Sahuaripa), de la cual se torna 16 km hacia el sur, hasta Arivechi; finalmente se dirige a un camino de terracería por 8 km al oeste de la localidad (ver figura 4).

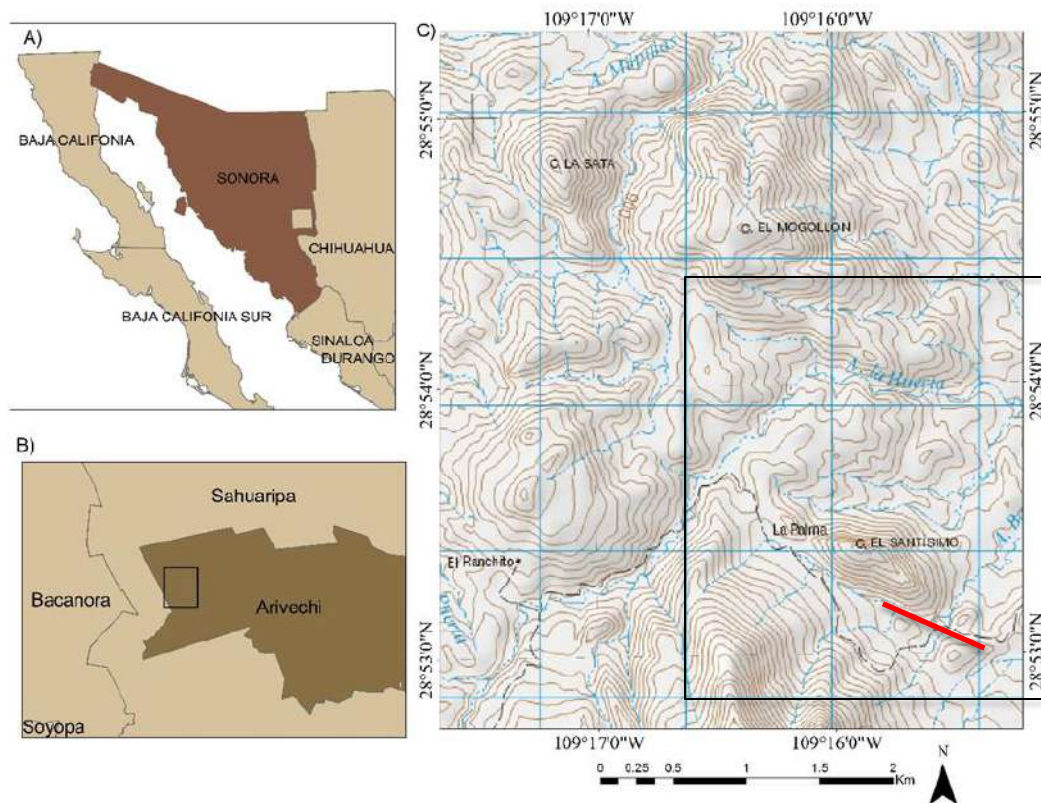


Figura 4.- Localización del área estudio de Arivechi. A) Ubicación al centro-este de Sonora, México. B) Ubicación del área de la localidad de Arivechi. C) Área de estudio dentro de recuadro de marco negro (tomada de Reyes-Montoya, 2017). La línea roja determina la sección realizada.

6.- FISIOGRAFÍA.

La fisiografía del estado de Sonora está constituida por cuatro provincias importantes:

- I. La Provincia **Llanura Sonorense** es la que posee mayor extensión en el estado y cubre desde la frontera con Estados Unidos y Baja California hasta su límite con la provincia Llanura Costera del Pacífico.
- II. La Provincia **Llanura Costera del Pacífico** que abarca la región del Valle del Mayo; al oeste se delimita por el Golfo de California y al este por su límite con la provincia Sierra Madre Occidental.
- III. La Provincia **Sierra Madre Occidental** es importante pues aquí se encuentra el área de estudio, inicia a 50 km al sur del límite internacional con Estados Unidos para terminar en el río Santiago y el Eje Neovolcánico.
- IV. La Provincia **Llanuras del Norte** que, a pesar de tener una pobre representación en el estado, para fines de este trabajo posee importancia debido a que domina la fisiografía y geomorfología de la zona de estudio (INEGI,2000).

6.1.- Provincia de Sierra Madre Occidental.

Esta provincia está formada en su mayoría por rocas extrusivas y en menor medida rocas sedimentarias. Originalmente se trataba de una gran meseta que por un proceso de millones de años crearon un paisaje de picos, mesetas, grandes cañones y barrancas. Se extiende de la costa occidental (suroeste de México); se inicia a 50 km, al sur del límite Internacional con los Estados Unidos, para terminar en el río Santiago en Nayarit y el Eje Neovolcánico. Esta provincia representa cerca de la mitad de Sonora desde las porciones centro-este y sureste del estado.

Esta provincia se subdivide a su vez en cuatro subprovincias: Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses; Pie de la Sierra (menor parte de la provincia); Sierras y Cañadas del Norte, la cual es la subprovincia donde se encuentra nuestra área de estudio; y Sierras y Valles del Norte (gran parte de la provincia) (INEGI, 2003).

6.2.- Subprovincia de Sierras y Cañadas del Norte.

La Subprovincia Sierras y Cañadas del Norte comprende el extremo noreste de la Provincia Sierra Madre Occidental, tiene una orientación aproximada norte-sur y se extiende de unos 20 km al oriente de Agua Prieta en Sonora y la sierra de San Luis en Chihuahua, hasta la altura de Rosario y San Juanita, en los mismos estados. Los ríos corren por profundas cañadas, hacia el sur los del norte y en sentido opuesto los del sur, de tal

forma que reúnen sus corrientes en el río Aros, afluente del río Bavispe y, por tanto, del río Yaqui. En el estado de Sonora ocupa la parte este, con localidades como Sahuaripa, Arivechi, Bacanora, Tonichi, Tarachi, entre otros. Limita al oriente con las Subprovincias Llanuras y Médanos del Norte y Sierras y Llanuras Tarahumaras, al sur con la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses.

Está constituida por sierras en las que dominan las rocas volcánicas ácidas, pero hay también grandes franjas basálticas burdamente orientadas norte-sur. En distintas zonas se pueden encontrar napas de rocas sedimentarias, así como gran cantidad de rocas conglomeradas como relleno de cuencas visibles en las cañadas. La morfología es de sierra de laderas escarpadas, clasificada fisiográficamente como sierra alta con cañadas (INEGI, 2003).

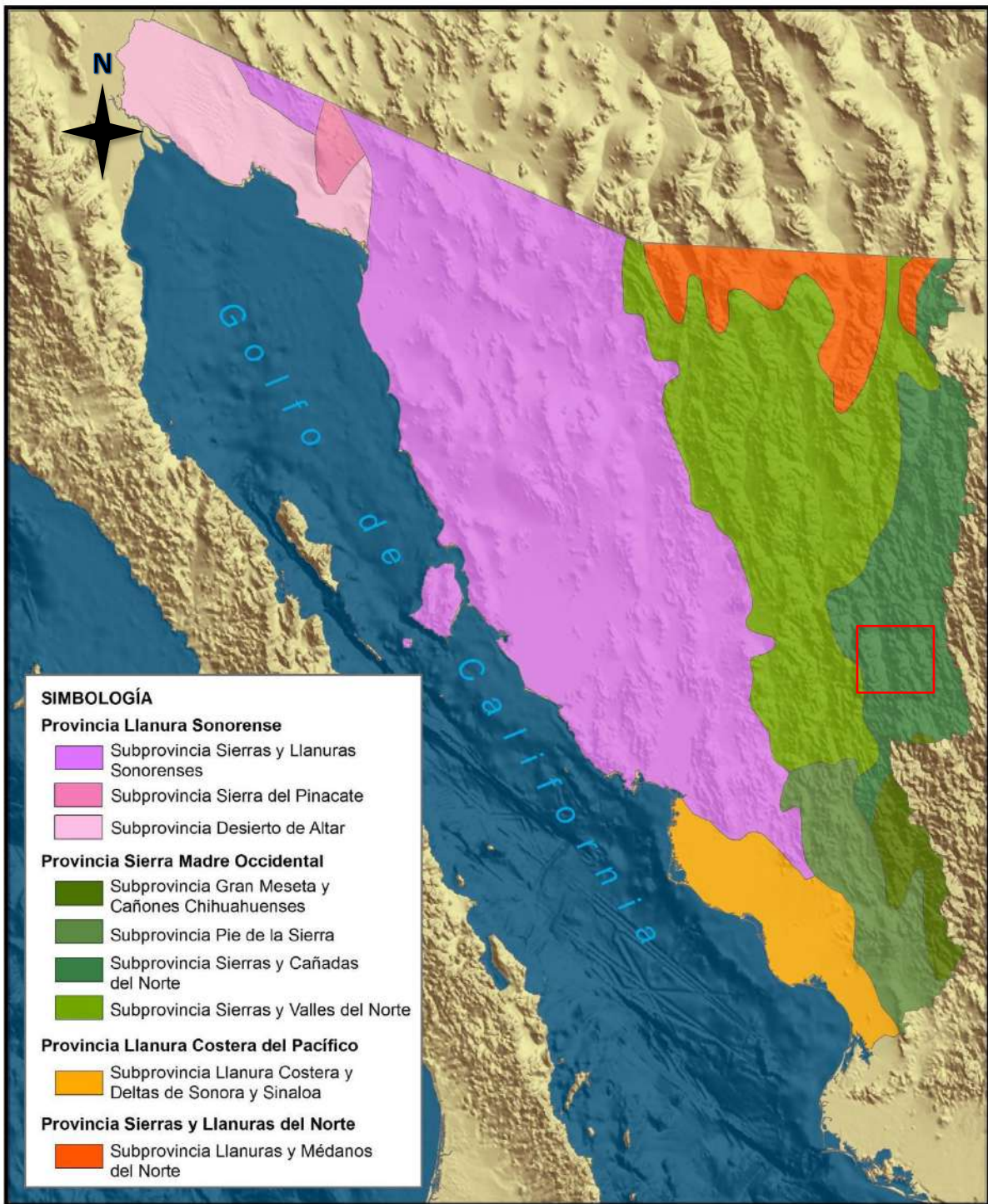


Figura 5. Mapa de provincias fisiográfica del estado de Sonora (Lancaster *et al.*, 1987; Lugo-Hubp, 1990).

7.- GEOMORFOLOGÍA.

La geomorfología de Sonora está representada de manera general por una planicie aluvial y de piedemonte extenso sobre la cual se erigen una serie de montañas que aumentan gradualmente en altitud de oeste a este: desde la costa del Golfo de California hasta culminar con las grandes elevaciones que constituyen a la Sierra Madre Occidental. Este elemento geomorfológico comprende cuatro unidades principales en su relieve: (1) El desierto de Altar en la parte noroccidental del estado en los límites con Baja California; (2) La planicie aluvial y de piedemonte con elevaciones menores localizada en una franja paralela a la línea de costa; (3) Las cadenas montañosas de bloque, transicionales a la Sierra Madre Occidental cuyos rasgos geomorfológicos se presentan hacia el este-sureste del estado y (4) El campo volcánico cuaternario El Pinacate (Lugo-Hubp, 1990).

El primero de los elementos geomorfológicos que constituyen, de manera general, una gran parte de la geomorfología de Sonora es el desierto. Éste se extiende hacia el oeste-noroeste del estado. Consiste en una superficie nivelada cubierta de arena y con una baja densidad de vegetación y está conformado en un 70% por arenas en planicies onduladas; un 20% por barjanes de diversos tipos y el resto por dunas de hasta 80-100 m de altura formadas por la conjugación de barjanes más pequeños (Lancaster *et al*, 1987 fide Lugo-Hubp, 1990).

Por otro lado, el campo volcánico El Pinacate está constituido por un conjunto de cinco volcanes principales y lavas basálticas que construyen una estructura con forma ovalada y que presentan una altitud máxima de 1,190 msnm. También está compuesto por estructuras de menor tamaño como cráteres, derrames de lava y depósitos de cenizas como producto de un volcanismo asociado a la actividad tectónica actual de la extensión del norte del Golfo de California iniciado probablemente durante el Pleistoceno tardío.

Extendiéndose desde la línea de costa hacia el oriente, aproximadamente hasta los 500 msnm, se tiene una planicie con sedimentos aluviales, de piedemonte y eólicos, desmembrada por conjuntos de elevaciones, principalmente de rocas intrusivas, metamórficas y, en menor medida, volcánicas. Se distribuyen como elevaciones residuales tipo montañas isla (*inselbergs*) con laderas empinadas y en proceso de destrucción a causa del intemperismo físico y la erosión. En su porción más oriental, dichas elevaciones forman estructuras alargadas y estrechas que se orientan paralelamente al Golfo de California con altitudes que pueden llegar hasta los 1,000 msnm o más. Este relieve domina por una franja de 15 km de ancho, aproximadamente, y constituye un elemento de transición con una serie de cadenas montañosas de mayores dimensiones que se orientan NNW-SSE y que corresponden con las primeras manifestaciones de la Sierra Madre Occidental en Sonora (Lugo-Hubp, 1990).

Estas cadenas montañosas, que se conforman por rocas volcánicas terciarias, intrusivas y sedimentarias mesozoicas, se alternan con valles intermontanos que

equivalen a bloques hundidos o grabens con rellenos sedimentarios aluviales y de piedemonte. El drenaje hídrico de esta zona está fuertemente controlado por las estructuras paralelas a las cadenas montañosas predominando una orientación norte-sur.

Hacia el este, bajo la influencia del ente geomorfológico llamado Sierra Madre Occidental, se tiene la predominancia de una serie de mesas de riolita que a gran escala se hallan dispuestas horizontalmente y que representan la superficie de la Sierra Madre Occidental transformada por intensos procesos exógenos durante el Período Cuaternario. De igual forma, dicha cadena montañosa es seccionada por un conjunto de cañones profundos labrados por la erosión fluvial que en algunos casos pueden llegar a profundidades máximas de 1,500 m.

La erosión fluvial, favorecida por el tipo de litología y las tasas de precipitación anuales que en la porción sur pueden llegar a 1,500 mm además de un escurrimiento predominante hacia la vertiente del Pacífico, ha originado una fuerte acumulación marginal de sedimentos en los grandes deltas desarrollados por los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte dominando los rasgos geomorfológicos en el extremo sur de Sonora, en lo que se conoce como Valle del Yaqui y Valle del Mayo.

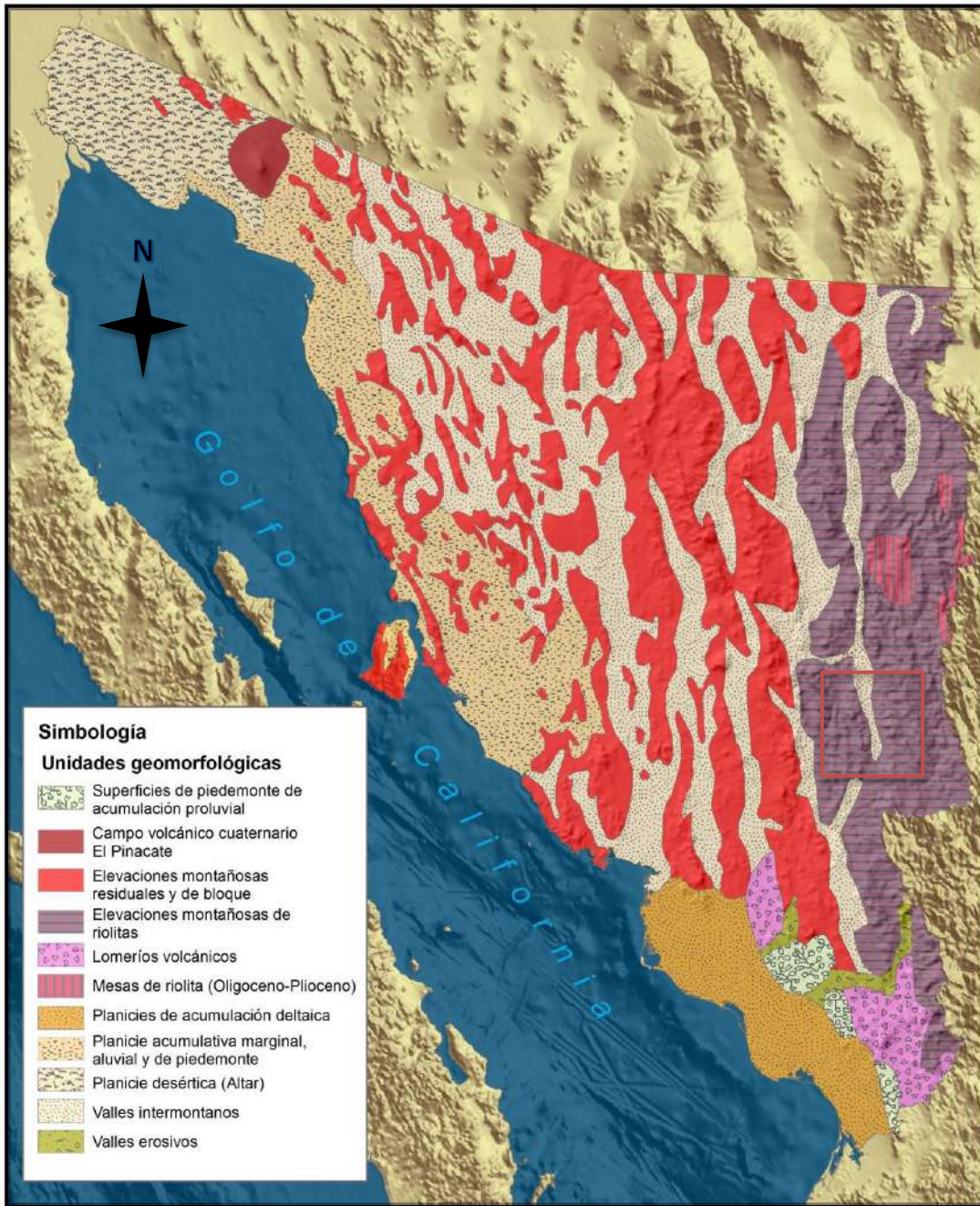


Figura 6. Mapa geomorfológico del estado de Sonora (tomado de Lugo-Hubp, 1990).

8.- TRABAJOS PREVIOS SOBRE AFLORAMIENTOS ORDOVÍCICOS EN SONORA.

El área La Casita-Los Chinos en el Cerro Cobachi fue estudiada por Peiffer-Rangin *et al.*, (1980). En la región central de Sonora se reporta la presencia de pedernal rojo oscuro y negro, junto con contenido de radiolarios, dentro de caliza arrecifal con corales mal conservados.

Noll (1981) describe una secuencia de 250 metros de arenisca masiva, lutita calcárea y carbonosa con graptolites, arenisca calcárea, caliza y bandas de pedernal.

Stewart *et al.*, (1988) describen la geología de la Sierra López en secuencias cámbricas-ordovícicas dentro de 10 unidades. Alrededor de 1700 metros de columna litológica ordovícica, constituida por caliza con horizontes de arcillas calcáreas y dolomitización de ciertas partes. La fauna fósil está constituida por trilobites, braquiópodos, gasterópodos y conodontos del Ordovícico.

Bartolini *et al.*, (1989), en la Sierra El Aliso definieron al Ordovícico Inferior en una secuencia de lutita negra con cantidades menores de arenisca de cuarzo, el Ordovícico Medio con arenisca de cuarzo y lutita; y el Ordovícico Superior está presente en forma de caliza con pedernal y elementos conodontales.

Ochoa-Granillo & Sosa-León (1993), en la Sierra Agua Verde, se denominaron una secuencia como la formación El Boquinete de composición de lutita calcárea, caliza arenosa, caliza con pedernal y arenisca.

Ávila-Angulo (1987) describen por primera vez rocas del Ordovícico en una secuencia sedimentaria en el rancho Pozo Nuevo, con paquetes de dolomía con capas de pedernal, arenisca calcárea, caliza con pedernal y fósiles de trilobites, braquiópodos, briozoarios, cefalópodos y crinoides. A esta secuencia se le denominó "Unidad Caliza Pozo Nuevo".

Montes & Campillo (1983), hacen referencia como Grupo Guayacán en la Barita de Cobachi (Barita de Sonora), a una secuencia de lutitas con graptolites como *Cryptograptus tricornis*, *Corynoides sp.*, *Orthograptus calcaratus* y *Pseudoclimacograptus sharenbergi* y braquiópodos del Cámbrico medio.

Ketner (1986) nombra informalmente la Cuarcita Peña Blanca del Ordovícico que aflora en el cerro Cobachi, concluyendo que es similar en espesor, composición y textura a la Cuarcita Eureka entre California y Nevada.

Vega-Granillo & Araux-Sánchez (1987) nombraron la Formación Las Norias, en el rancho Las Norias, a una secuencia del Ordovícico compuesta de caliza, lutita, dolomía y

arenisca, comparable a la Fm. Pozo Nuevo. El contenido fósil de la secuencia se conforma de briozoarios, braquiópodos, gasterópodos, trilobites, crinoides y conodontos.

Almazán-Vázquez (1989) describió la geología del oeste de Arivechi, donde nombró informalmente cinco formaciones, de las cuales una de ellas corresponde a la formación El Santísimo, una secuencia de lutita y caliza con contenido fosilífero en trilobites (con los cuales se dieron edades alrededor del Ordovícico Temprano) y conodontos, en el cerro El Santísimo.

Poole *et al.*, (1995b) identifican el Ordovícico de cuenca en la Barita de Sonora (Mazatán), cerro Cobachi, Rebeiquito (Rebeico), Sierra Los Alisos (Soyopa), La Colorada y la Isla Turner.

Poole *et al.*, (1995a) concluyeron que las rocas de plataforma del Ordovícico de Sonora se pueden correlacionar con las rocas del oeste de EUA; las rocas calcáreas de Sierra López, Sierra Martínez, Las Norias y cerro Cobachi se pueden correlacionar con el Grupo Pogonip de Nevada y California, mientras que las rocas del Ordovícico de la Sierra Agua Verde son correlacionables con la Caliza el Paso al oeste de Texas.

Almazán *et al.*, (2006) nombraron formalmente la Formación Pozo Nuevo aflorando en el rancho Las Norias y rancho Pozo Nuevo, una secuencia formada por 14 miembros que en conjunto forman un espesor de 2,490 metros de caliza con pedernal alternada con capas arcillo-calcáreas y de areniscas de cuarzo con trilobites, gasterópodos y braquiópodos del Ordovícico Temprano.

Vachard *et al.*, (2017) reportaron una nueva localidad del Ordovícico en el cerro de La Cueva, San Pedro de la Cueva.

Reyes-Montoya (2017) describió la bioestratigrafía del Cámbrico-Ordovícico de Sonora Central, en la Sierra Agua Verde (Villa Pesqueira) con una litología de arenisca y caliza con edades del Cámbrico y Ordovícico; al igual que al oeste de Arivechi en el cerro El Santísimo (Arivechi) con una secuencia de caliza rosácea con presencia de conodontos de la Zona *Rossodus manitouensis* del Tremadociano (Ordovícico Inferior).

9.- GEOLOGÍA REGIONAL.

La estratigrafía del área estudiada está representada por afloramientos de rocas del Cámbrico, Ordovícico, Devónico, Carbonífero, Pérmico, Jurásico, Cretácico y terciario.

Por tener una mayor importancia en la bioestratigrafía y paleogeografía de América del Norte, se destacan las secuencias estratigráficas del Cámbrico y Ordovícico con especificación como tema de investigación en el cerro El Santísimo.

Arivechi está considerada dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos, dentro del terreno comprendido como Terreno Caborca. Las rocas más antiguas de edad Proterozoico Superior conformada por arenisca, dolomía y cuarcita, aflorando por medio de fallas de cabalgadura sobre unidades mesozoicas en la porción noreste y centro-sur, mientras que las unidades del Paleozoico inferior se encuentran en bloques en la parte oeste y noroeste-oeste de la carta H12-D56. Las rocas paleozoicas que se encuentran van desde el Cámbrico hasta el Pérmico:

PALEOZOICO

Cámbrico

Las rocas que conforman la parte del Cámbrico medio afloran en la porción oeste dentro de las formaciones El Volcán, La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillars principalmente, representadas por secuencias de lutita y cuarcita, con ciertas apariciones de caliza margosa, lutita y arenisca calcárea.

Ordovícico Inferior

El Ordovícico Inferior está caracterizado casi de forma exclusiva por la formación El Santísimo, sobre el área que comprende el cerro con el mismo nombre. Posicionada y aflorando encima del Cámbrico mediante una cabalgadura sobre la fm. El Mogallón en la parte oeste de la carta y se encuentra sepultada en la parte este por la Fm. Potrero. La Formación se divide en tres miembros principales según Almazán-Vázquez (1989):

Se trata del miembro intermedio con una secuencia litológica que consiste, de la base a la cima, en una interestratificación de lutita calcárea en horizontes delgados y calizas arcillosas pelágicas a semipelágicas de color gris oscuro a negro con filocáridos similares a *Carycaris*, pellets fecales y trilobites nectónicos articulados dañados en afloramiento, semejantes a *?Remopleuridiella* tratándose de un posible ambiente bentónico de conservación anaeróbica por debajo de la picnoclina, de acuerdo con las

señales de gran contenido de materia carbonosa y carencia de estructuras de zonas de bioturbación y la presencia única de fósiles nectónicos, en su parte inferior.

En la parte superior del miembro se dan niveles de rocas carbonatadas predominando en capas que varían en espesores de laminaciones a capas delgadas con coloraciones gris oscuro con contenido fosilífero de braquiópodos inarticulados.

La parte superior de la formación El Santísimo se encuentra constituida por calizas grises claras con coloraciones ocasionales rosáceas con espesores de medianos a gruesos de textura fina y gruesa con recristalización, con presencia de vetillas rellenas de calcita y óxidos de hierro, lo cual le proporciona de una coloración rojiza-gris clara a la muestra fresca. Aparentemente es un miembro desprovisto de macrofósiles debido al grado de recristalización.

Devónico

Afloramientos del Devónico Superior son reportados por Palafox (2011) con contenido fósil en foraminíferos, corales, entre otros; los cuales son relacionables con la Formación Martín aflorando en el Cerro El Yugo, ubicado a 5 km al suroeste del área de estudio.

Carbonífero-Misisipico Medio

Se reportan rocas bien representadas en la Formación Peñasco Blanco propuesta por Palafox y Martínez (1985) para designar una secuencia homogénea calcárea, cuyo afloramiento típico se encuentra en el cerro Peñasco Blanco, de edad Misisipico Medio y se determinó por la presencia del coral *Amplexizaphrentis clinatus* y el braquiópodo *Brachytyrina* sp. (Palafox et al., 1984).

Pérmico inferior

En la parte sureste del pueblo de Arivechi se encuentran secuencias correspondientes a la Formación Palmar (King, 1939) en la que se incluyen una secuencia formada por intercalaciones de lutita, arenisca, caliza y dolomía, aflorando en el cerro El Palmar. King (1939), pero fue Minjárez-Sosa et al. (1985) quienes reportaron especies de fusulínidos *Schubertella* sp. y *Schwagerina* sp., los cuales localizan a la secuencia en el Pérmico inferior.

El Pérmico tiene una secuencia bien caracterizada en la parte suroeste-oeste de la carta Arivechi por la Formación Santo Domingo, constituida por potentes estratos masivos de calizas y areniscas calcáreas presentes en las secuencias eugeoclinales perteneciente al alóctono de Sonora junto con la formación El Yugo, producto de la Orogenia Oachita-Marathon-Sonora (Poole et al., 2005). En la parte este-centro de la carta se presenta en el

cerro Peñasco Blanco, en donde se encuentra rocas calizas de la Fm. Peñasco Blanco que caracteriza el Pérmico en esta porción del área de Arivechi.

MESOZOICO

Jurásico Superior

La Formación Las Cúmaras propuesta por Palafox y Martínez (1985) para caracterizar una secuencia de arenisca, lutita y limolita suprayacida por una potente brecha sedimentaria la cual aflora en el arroyo Tarachi y camino Arivechi-Tarachi. La fauna que contiene es belemnites *Hibolites* sp. y el ammonite *Subdichotomoceras* sp. de edad Kimeridgiano (Almazan-Vazquez y Palafox, 2002).

Cretácico Inferior

El Cretácico Inferior se encuentra presente en la porción centro-oeste, del área de estudio, representado por caliza, lutita y conglomerado deformado y plegado, correlacionable con una unidad presente en el área de Lampazos (más al norte de la carta). Este paquete de rocas sedimentarias esta intrusionado por granodioritas fechadas con edades de 51-56 Ma (por K-Ar en hornblenda) y rocas dioríticas de 41-42 Ma (Pubellier, 1987). De acuerdo con las características de las Formación Potrero definidas por King (1939), los paquetes detríticos de la unidad inferior con un rango de edades de 125 a 115 Ma.

Cretácico Superior

La Formación Potrero está compuesta por una secuencia del Cretácico Superior que corresponden a paquetes de rocas vulcano-sedimentarias que aflora tanto en la parte este como oeste de Arivechi, la cual fue descrita por King (1939) en las que se caracteriza una secuencia de toba andesítica, arenisca y conglomerado en menor medida. Las rocas fueron fechadas mediante el método K-Ar, arrojando una edad de 83.4 ± 4.17 Ma por Pubellier (1987).

CENOZOICO

Fm. Báucarit (Mioceno inferior-medio)

Afloramientos de Neógeno de andesita basáltica y basalto fisular descansan sobre el conglomerado de la Formación Báucarit del Mioceno en la porción central, noroeste y oeste, incluyendo la zona sur del área de estudio de la tesis, el cerro vecino del Santísimo, El Encinal, con presencia de tobas riolíticas.

Damon (1975) fechó por el método K-Ar una andesita basáltica colectada en la parte inferior de esta unidad, obteniendo una edad Mioceno temprano (21.7 – 0.4 Ma). Por las dataciones anteriores, se puede concluir que la edad de la Formación Báucarit cubre un intervalo de tiempo desde Mioceno temprano hasta Plioceno tardío (Roldan, 1979).

10. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio afloran rocas con edades que van del Cámbrico al Reciente (Almazán-Vazquez, 1989; Reyes-Montoya, 2017).

Las rocas más antiguas son del Cámbrico descritas por primera vez por Almazán-Vazquez (1989), son las presentes en las formaciones: La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillás; y la formación El Santísimo del Ordovícico Inferior.

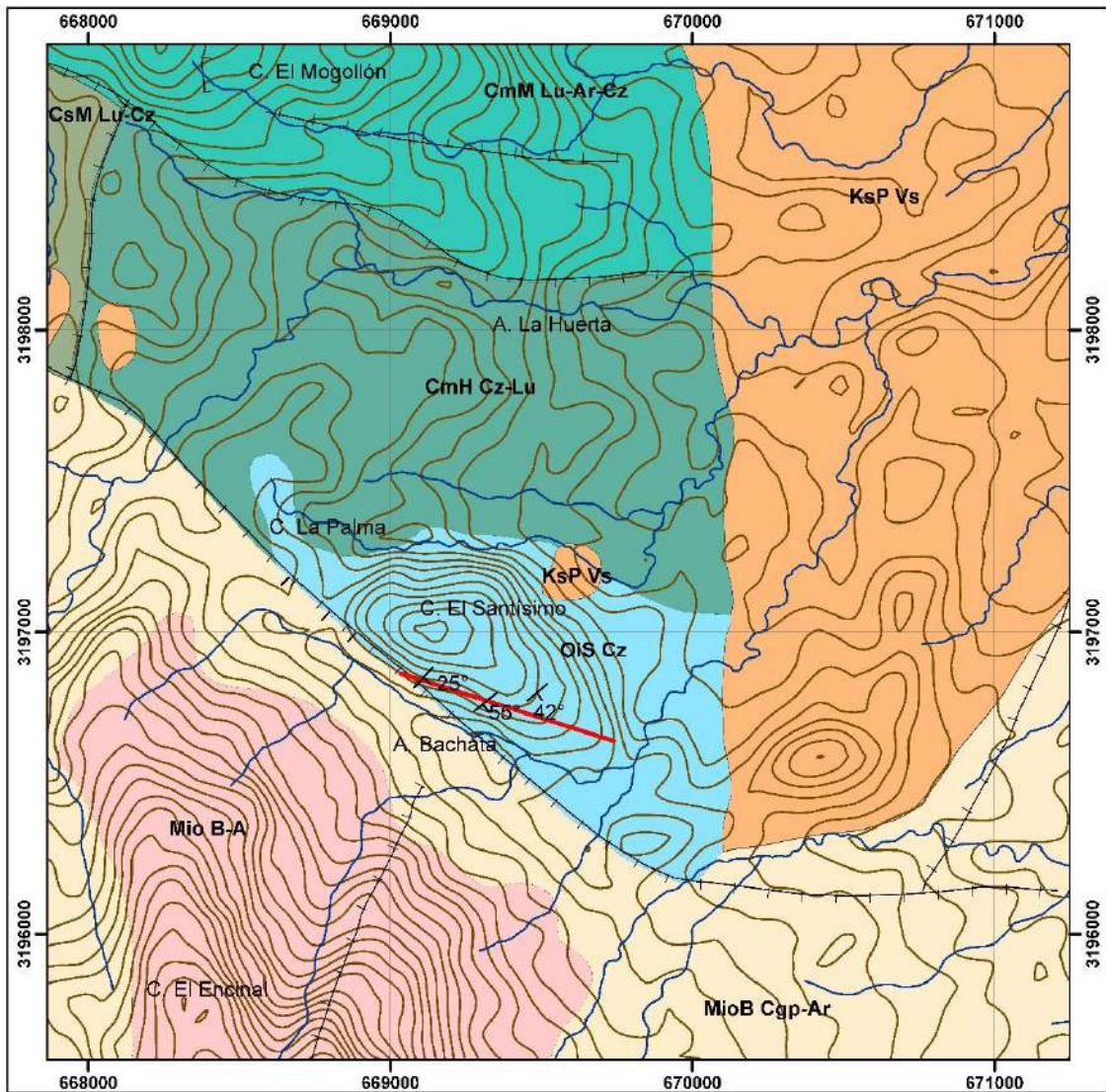
La formación La Sata , está constituida por intercalaciones de caliza con lutita, arenisca, cuarcita, lutita, caliza oncolítica y caliza oolítica con moluscos y trilobites del Cámbrico medio; la formación el Mogallón, compuesta de caliza, lutita, limolita y caliza intercalada con lutita con poríferos, braquiópodos y trilobites que vivieron durante el Cámbrico medio; la formación La Huerta se constituye por caliza en estratos delgados con lutita laminar con abundante fauna de braquiópodos del Cámbrico superior; en el Cámbrico superior, la formación Milpillás que se compone de lutita calcárea y caliza arcillosa con fauna de braquiópodos, moluscos, trilobites y conodontos (Almazán-Vazquez, 1989).

El Ordovícico se expone en la parte sureste del área de estudio, se caracteriza por lutita, caliza arcillosa y caliza en estratos gruesos con ostrácodos, equinodermos y conodontos (Reyes-Montoya, 2017).

En el área aflora también la formación Potrero la cual es una secuencia compuesta de intercalaciones de lutita con restos de plantas, limolita, arenisca, toba y dique de andesita (Palafox y Martínez, 1985), encontrándose afectando en forma de diques a la fm. Milpillás y fm. El Santísimo; se encuentra en contacto, sobreyaciendo en la parte este de las formaciones Mogallón, El Santísimo y La Huerta.

La Formación Báucarit está litológicamente compuesta por conglomerado y arenisca, con horizontes de rocas volcánicas, de composición andesítica y basáltica, aflora en la porción oeste del área de estudio.

El aluvión corresponde a los depósitos de arenas y gravas que afloran en los márgenes de los ríos del área de estudio.



Leyenda

- Sección
- Drenaje fluvial
- Curvas de nivel
- Rumbo

Estructuras

- Falla Normal

Geología (Formaciones)

Neógeno

Mioceno

- Basalto andesítico (Mio B-A)
- Báucarit (MioB Cgp-Ar)

Cretácico

- Potrero (KsP Vs)

Ordovícico

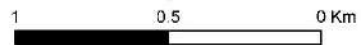
- El Santísimo (OIS Cz)

Cámbrico

- El Mogollón (CmM Lu-Ar-Cz)
- La huerta (CmH Cz-Lu)
- Milpillas (CsM Lu-Cz)



1:20,000



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología

Licenciatura en Geología

André Becuar Daniels

Modificado de Almazán-Vázquez (1989)

Figura 7. Mapa geológico de la zona de estudio.

10.1. formación El Santísimo

Esta formación fue descrita informalmente por Almazán-Vázquez (1989) y toma su nombre del mismo cerro en el que se llevó a cabo el trabajo de sección en el cerro El Santísimo, con localización 28°53'20''N y 109°15'45''W. Constituida por lutitas y calizas en su mayor medida con los siguientes miembros:

La fauna contenida en la formación El Santísimo permite ubicar al paquete sedimentario en el Ordovícico Inferior, en el piso Tremadociano, representando la zona faunística *Symphysurina*, con base en trilobites.

En la parte occidental la Fm. Baucarit del Mioceno se pone en contacto con la unidad superior, a través de una falla normal de gran ángulo que se inclina hacia el occidente.

Esta formación puede relacionarse con otras unidades de forma cronoestratigráfica, con un paquete de rocas calcáreas que contiene conodontos del Ordovícico Temprano-Medio, y que se encuentra expuesto en las partes media y superior de la formación El Boquinete en la Sierra Agua Verde (Stewart et al., 1984; Reyes-Montoya, 2017).

La fm. El Santísimo está siendo sobreyacida por una secuencia volcanosedimentaria de toba andesítica y arenisca, las cuales son representativas de secuencias de la Formación Potrero del Cretácico Superior, además de ciertas partes donde hay gran cantidad de clastos rodados y afloramientos de basaltos de edad del Mioceno con partes intercaladas de arenisca y conglomerado, presentes como un importante componente en afloramientos de altos topográficos en el cerro El Encinal, muy próximo al área de estudio.

El afloramiento de principal interés en ésta formación está constituido por los miembros B y C descritos por Almazán-Vázquez (1989), compuesta por calizas con horizontes y laminaciones de arcillas que conforme se llega a la parte superior de la secuencia (miembro C) las rocas calcáreas muestran mayor grado de recristalización y dolomitización.

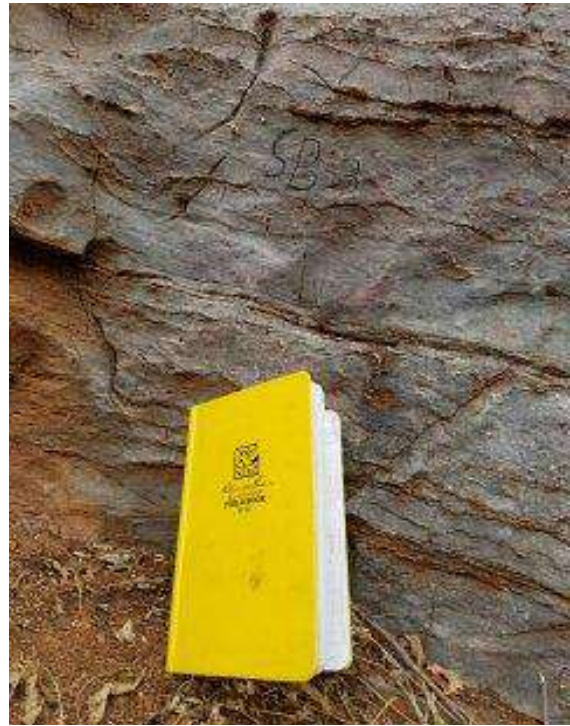


Figura 8. Afloramientos de calizas color gris oscuro intercalados con laminaciones de lutitas color gris claro con estratificación mediana semiparalela.



Figura 9. Afloramientos de calizas oscuras con tonos rojizos en estratos de medianos a grandes con espacios de múltiples laminaciones de color gris con fracturas rellenas de calcita.



Figura 10. Afloramientos de calizas grises claras con rosado con laminaciones de lutita color crema con pliegues sinsedimentarios.

11.- RESULTADOS

11.1.- Descripción de estratos no medidos.

STM-1 Caliza recristalizada, intenso color rojizo en muestra fresca con un intemperismo de color café grisáceo formada de fragmentos de caliza previamente fracturada con presencia de pedernal blanco. Gran efervescencia de la muestra, gran cantidad de materia orgánica y de recristalización.

STM-2 Caliza recristalizada con intemperismo kárstico con color gris marrón en superficie intemperizada y gris claro con tonalidades rojizas en muestra fresca.

Punto deformado por plegamiento: 669,697 m E; 3,196,713 m N, 860 metros de altura msnm. Estratos deformados de calizas estratificadas con un aumento sistemático del grosor de los estratos de 0.10 a 2 m, por 5 m de afloramiento.

Presencia de nódulos de pedernal blanco con estratos delgados de calizas de color claro recristalizadas con tonos rosados.

STM-3 Calizas de estratificación media en bloques con interestratificación de caliza de tono claro y tonos más oscuros de 10 cm a 2 m. Intemperismo kárstico presente en la parte superior del afloramiento por 10 m de afloramiento. Color de intemperismo gris oscuro con vetas de caliza amarillenta y en rocas fresca se presentan colores grises claros con nódulos de pedernal rojos y blancos.

11.2.- Descripción de estratos medidos.

Medida con cinta métrica (corregida con echado de 45°). Rumbo de sección 17° NE:

SB-0 (0 m) Caliza color gris marrón con tonos verdes en intemperismo kárstico y color gris-rosado en roca fresca con interestratificación de arenas calcáreas. 809 metros de altura.

SB-1 (21.2 m) Caliza masiva con estratos de 5 metros con intercalaciones de estratos de 30 cm de color gris rojizo con intemperismo kárstico, en muestra fresca se observan colores grises-rosas con vetillas de calcita. 822 metros de altura.

SB-2 (34 m) Caliza intemperizada kárstica con color gris oscuro con vetillas de calcita. Intercalación de margas en laminillas con recristalización. Color en roca fresca gris rojizo oscuro con fuerte recristalización.

-Parte cubierta (46 m)

SB-3 (de 53 m) Calizas masivas con estratos de 5 a 6 metros con laminaciones de marga arenosa, intemperismo kárstico color oscuro y color en fresco gris claro con recristalización.

-Parte cubierta (72 m)

SB-4 (85 m) Caliza recristalizada con posible bioturbación con intemperismo kárstico, color gris claro con rojizo oscuro. Color gris claro con tonalidades blancas y rojizas en capas y vetillas de calcita en muestra fresca. 811 m de altura.

-Parte Cubierta (97 m)

SB-5 (107 m) Calizas gris oscuras con coloración rojiza con laminaciones cada 3 cm de laminillas de margas, intemperismo kárstico, presencia de pliegues sinsedimentarios. Color de muestra en fresco, marrón rojizo en recristalización.

-Parte Cubierta (119 m)

SB-6 (132 m) calizas con interestratificación de marga y caliza con bioturbación, con presencia de materia orgánica. Color gris claro en superficie intemperizada y gris oscuro con rojo en muestra fresca. Calizas masivas de 15 m aprox. con laminaciones de marga recristalizada.

SB-7 (141 m) Caliza con estratos de 50 cm de espesor con pedernal negro con tonos rojos. Color gris claro en superficie intemperizada y gris oscuro con rojo en muestra fresca. 800 m de altura.

-Parte Cubierta (141 m)

SB-8 (147 m) Caliza de color fucsia rojizo con tonos grises, con predominantes pedernales oscuros a rojo, múltiples vetillas y fracturas rellenas de calcita. Color en muestra fresca fucsia grisáceo con tonalidades grises claras de presencia discreta. 780 m de altura.

-Parte Cubierta (160 m)

SB-9 (164 m) caliza con color de superficie intemperizada gris con marrón con interestratificaciones de láminas margosas de color rojo (intemperizada y fresca) y claras. Presencia de pedernal con las mismas características de las muestras SB-6, SB-7 y SB-8. Color de muestra fresca gris rosado con un oscuro intenso con vetillas de calcita. 793 m de altura.

SB-10 (180 m) Caliza con intenso fracturamiento de color gris claro con tintes rojizos a rosados en superficie intemperizada. Color en muestra fresca gris rosado claro con zonas rojizas claras. 750 m de altura.

Fin de Sección (185 m).

Columna Estratigráfica de la Sección en Cerro El Santísimo, Arivechi

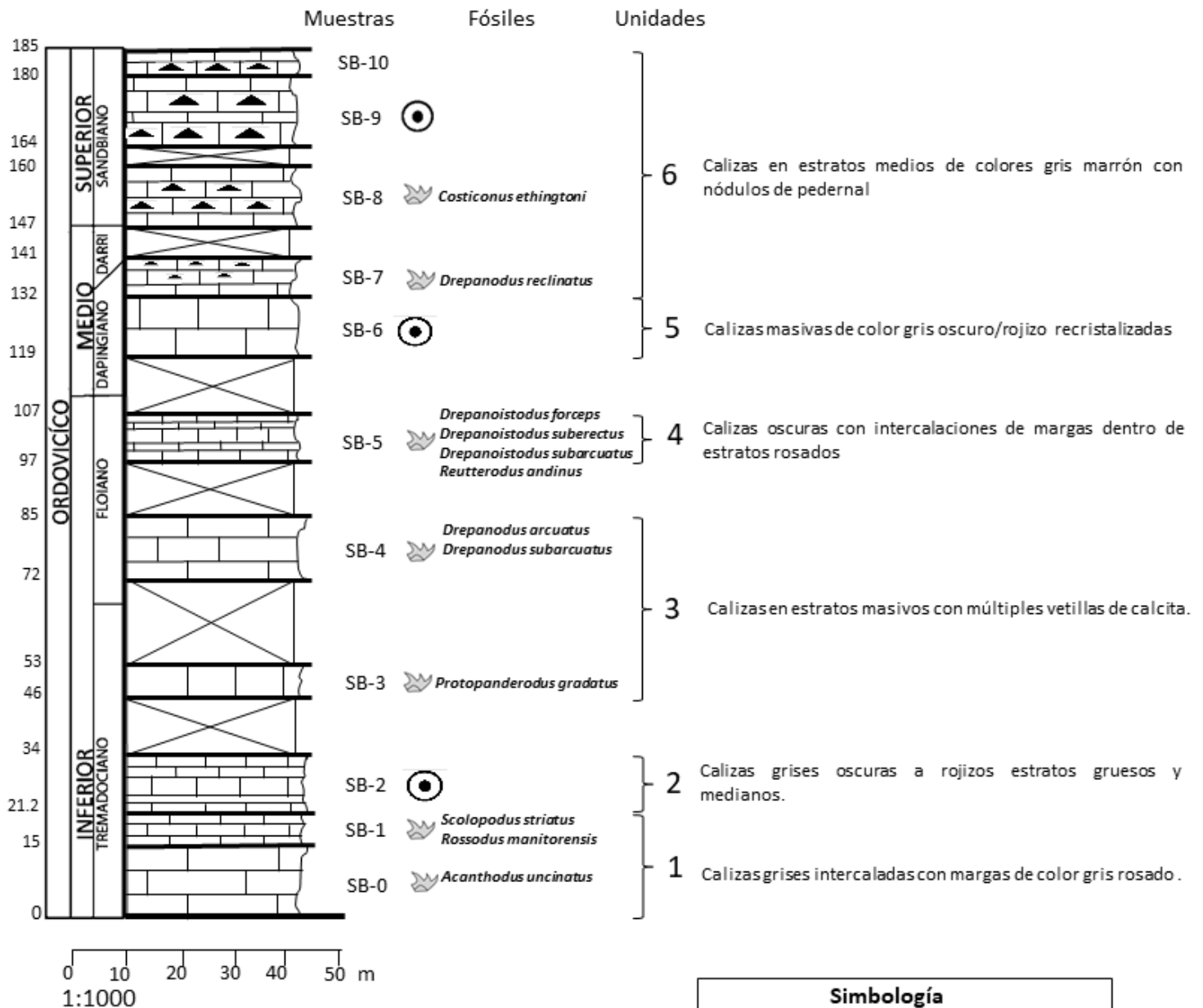


Figura 11. Columna estratigráfica de sección en el cerro El Santísimo, Arivechi, con corrección de espesor usando una inclinación de echado promedio de la sección de 45° al SE.

11.3.- Clasificación de muestras en lámina delgada.

Uso de términos de clasificación de Dunham (1962).

STM-2.- Roca con contenido recristalizado de esparita con alto contenido de hierro sobre una matriz de micrita en un 40% con 60 % de esparita en vetillas cortadas por otras más delgadas secundarias. Notándose a luz reflejada cubos pirita oxidada en bajos porcentajes. Clasificable como grainstone.

STM-3.- Roca con contenido de esparita casi en su totalidad con presencia de óxido de hierro en forma de hematita. Sin contenido fósil aparente debido a una recristalización y dolomitización, por lo que se le clasifica como roca de carbonatos cristalinos con óxido de hierro en muy bajo porcentaje, lo que le confiere ciertas coloraciones rosadas en partes puntuales.

SB-0.- Roca de esparita en su totalidad con contenido de cubos de pirita oxidada y vetillas con relleno de hematita y calcita, clasificada como roca de carbonatos cristalinos.

SB-1.- Roca con contenido fosilífero de crinoides pequeños con un contenido de 10% de óxidos de hierro dentro de una matriz de micrita sosteniendo cristales de esparita, presencia de vetillas de calcita cristalina y pequeños intraclastos redondeados. Roca clasificada como Packstone.

SB-2.- Roca con contenido de crinoides en mayor medida que la anterior y mayor contenido en óxidos de hierro por la presencia de una veta que corta a toda la lámina en un 10%; micrita en matriz en 40% alrededor cristales de esparita (en 50%) producto de una recristalización. Packstone con placas columnares de crinoides.

SB-3.- Roca con 70% de esparita y 20% de micrita (contenida en matriz de forma heterogénea), presencia de crinoides, intraclastos y cortoides, clasificada como un packstone fosilífero con intraclastos.

SB-4.- Roca con 60% de micrita soportando a granos de esparita, intraclastos, cortoides y segmentos de crinoides (40%) de forma casi exclusiva. Packstone de intraclastos.

SB-5.- Roca de micrita con contenido de vetillas de calcita que cortan a la muestra. Sin contenido faunístico ni granos de esparita.

SB-6.- Roca con gran contenido de micrita en un 80% con contenido de esparita en granos pequeños con algunos intraclastos y fragmentos de crinoides en el resto de su composición junto con presencia de óxido de hierro.

SB-7.- Roca con contenido de esparita casi total, con vetillas de óxido de hierro y contenido en micrita muy pobre, sin contenido fósil visible. Clasificable como roca de carbonatos cristalinos.

SB-8.- Roca de micrita con un gran contenido de óxidos de hierro diseminados, con vetillas de calcita cortando la lámina. Sin contenido faunístico ni granos de esparita.

SB-9.- Roca con gran contenido en micrita con más del 80%, 10% de óxidos de hierro y 10% entre el contenido de granos esparita y calcita cristalizada en vetas que cortan la lámina. Wackestone de crinoides.

SB-10.- Se trata de una muestra constituida mayormente por esparita en un 80% de la superficie, con un 20% micrita con contenido de óxido de hierro. Posible recrystalización de la roca y dolomitización de ciertas partes. Esparita sin fauna visible con óxido de hierro.

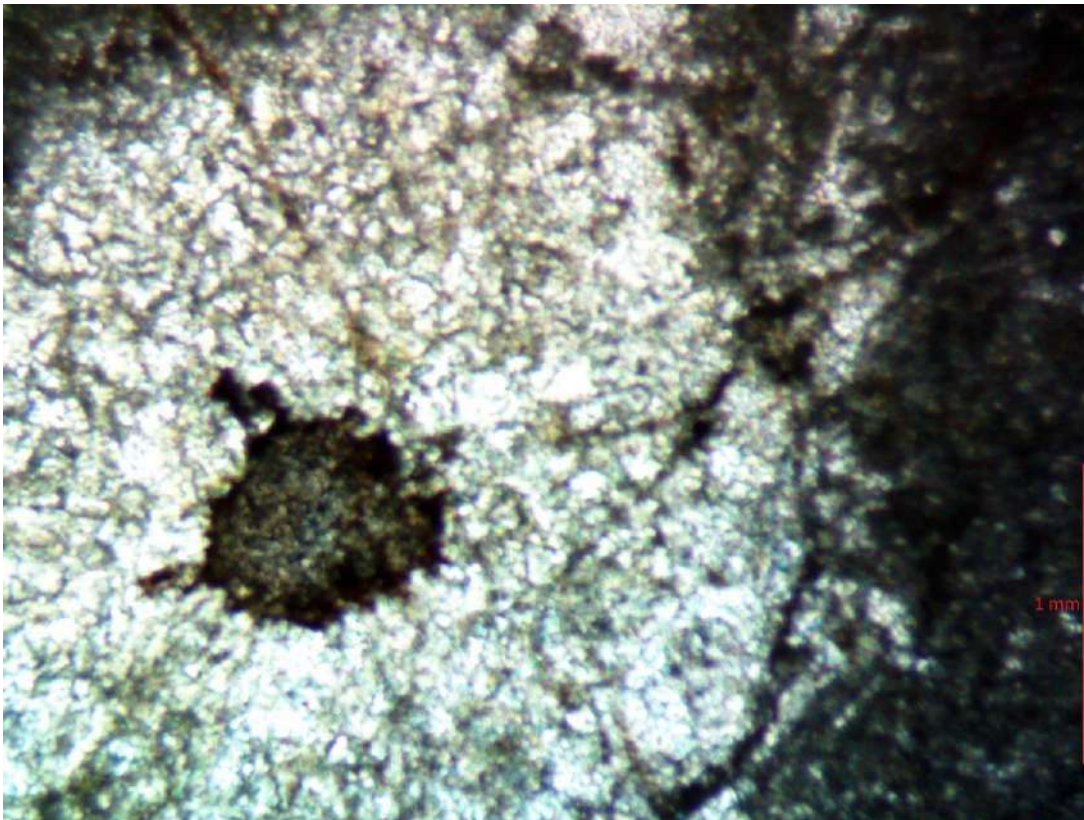


Figura 12. Corte placa columnar de crinoide recrystalizado de dimensiones milimétricas obtenida en la lámina SB-9, en la parte superior de la columna estratigráfica. Vista con lente 4X.

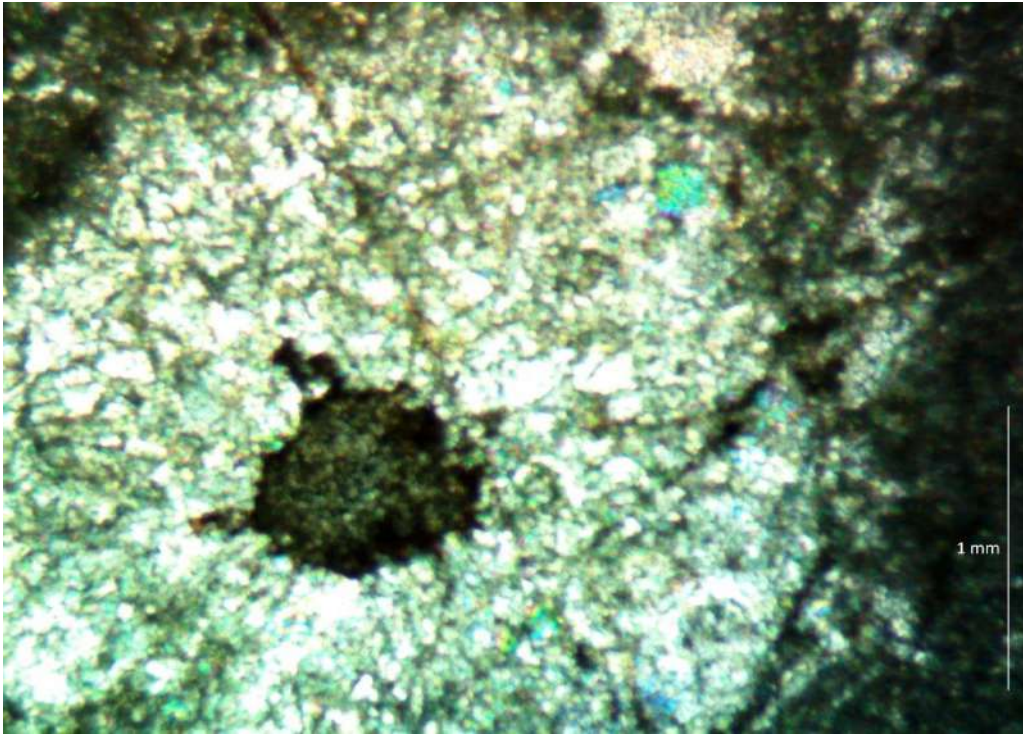


Figura 13. Corte placa columnar de crinoide visto con Nícoles Cruzados; presenta dolomitización en gran medida sobre todo el margen interno debido a una recristalización de cristales de dolomita reemplazando la esparita. Lamina SB-9. Vista lente 4X.

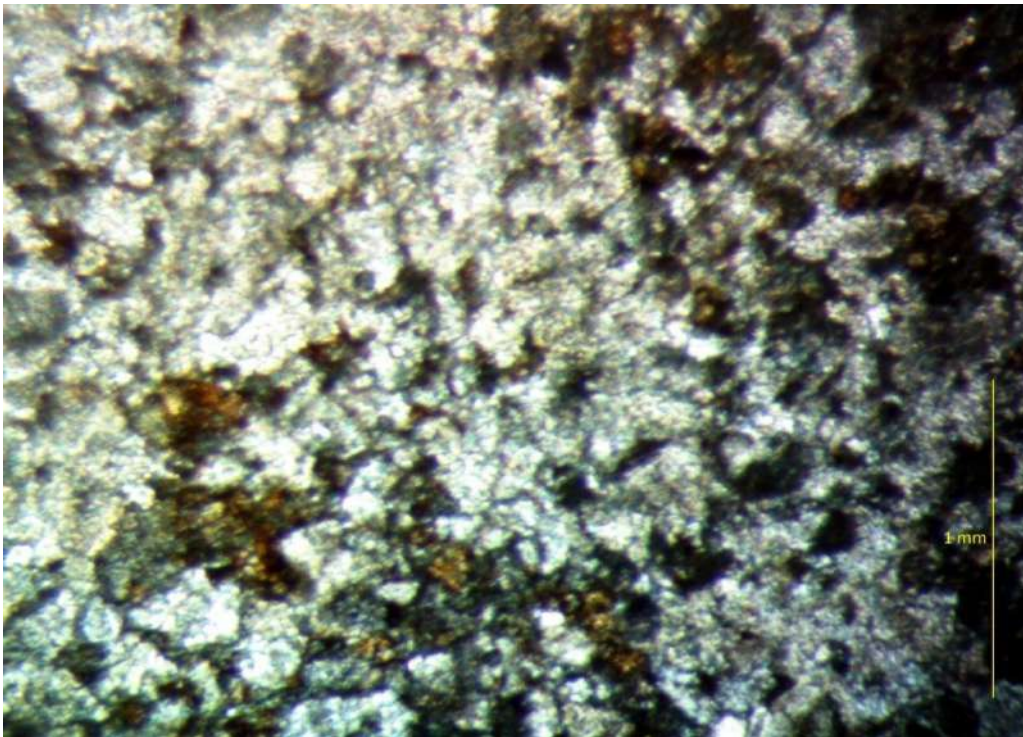


Figura 14. Figura 17.- Muestra SB-8 mostrando recristalización de esparita del afloramiento con óxidos de hierro con proceso de dolomitización. Vista con lente 4X.

11.4.- Contenido de conodontos en muestras de sección.

SB-0: Ejemplares bien conservados de gran tamaño con coloraciones de gris con tonos oscuros, un rango de tamaños entre los 0.4 mm a 1.8 mm. 11 elementos útiles para realizar el estudio taxonómico correspondiente. 23 elementos conodontales recuperados.

SB-1: Muestra con un contenido rico en elementos conodontales con cerca de 20 ejemplares útiles para estudio taxonómico. Elementos bien conservados con coloraciones de gris a oscuro brillante con un rango de tamaño entre los 0.4 mm y 1.6 mm. 34 elementos conodontales colectados.

SB-2: Muestra de poco contenido de elementos conodontales, pero bien conservados y útiles para clasificación de éstos; 4 ejemplares útiles de colores entre oscuro a gris marrón lustroso y rango de tamaño entre 0.2 mm a 0.6 mm. 39 elementos conodontales recuperados.

SB-3: Muestra con buen contenido en conodontos con colores oscuros con un rango de tamaño de 0.2 mm a 1mm. Es muy útil este nivel, puesto que aquí se encontraron 2 elementos de conodontos compuestos con un elemento de mayor tamaño y cúspide seguido de una hilera en sección de tipo "aserrada" en la parte inferior del elemento principal de mayor cúspide. 45 elementos conodontales recuperados

SB-4: Elementos encontrados pobremente conservados de pequeñas dimensiones, fragmentos en mayor parte con una coloración oscuro opaco (correspondiente a un ambiente de recalentamiento del afloramiento de 300° C). 27 elementos colectados.

SB-5: Contenido útil para estudio taxonómico, ejemplares de color gris oscuro y rango de tamaño de 0.2 mm a 0.6 mm. 15 elementos colectados.

SB-7: Tres elementos conodontales útiles para estudio taxonómico, en su mayoría muy afectados térmicamente y en fragmentos en su mayoría de color muy oscuro, ni un elemento completo. Ocho elementos colectados

SB-8: Dos elementos conodontales útiles para estudio taxonómico, el resto están muy afectados térmicamente y en fragmentos en su mayoría de color muy oscuro, ni un elemento completo. Cuatro elementos colectados.

SB-9: Sin contenido utilizable, y con características litológicas de una dolomitización más desarrollada que en el resto de la sección conforme se llega a la parte superior de las unidades más jóvenes. 10 elementos conodontales colectados.

12.- GENERALIDADES DE LOS CONODONTOS.

Los conodontos son piezas microscópicas (usualmente 0,25 a 2 mm) con morfología variada y compuestas principalmente por apatito y materia orgánica (Ellison, 1944). Desde su descubrimiento, estos fueron interpretados como restos similares a dientes y mandíbulas de peces fósiles (Pander, 1856), aunque procedentes de organismos desconocidos similares a los pertenecientes al Phylum Chordata (Cordados). Estos microfósiles generalmente se encuentran aislados en rocas sedimentarias del Cámbrico superior al Triásico Superior y algunas morfologías variadas se asocian en aparatos de alimentación compuestos por varios elementos. En este sentido, el término conodonto tiene un uso dual, al referirse tanto a los elementos del aparato dental como al organismo portador de los mismos.

Clasificación morfológica (Blanco-Ferrera y Sanz-López, 2012):

- **Forma Simple:** cónicos en forma de colmillo y de gancho. Géneros *Drepanodus* y *Acanthodus*.
- **Formas Compuestas:** con la disposición de dientes con una cúspide principal flanqueada por pequeñas cúspides o laminaciones denticulares. Género *Hibbardella*.
- **Formas en Placa:** tienen una disposición de una lámina parcialmente redondeada con extensiones laterales cubiertas por pequeños cristales, nódulos y tubérculos. Géneros *Icriodus*, *Amorphognathus*, *Gnathodus*, *Ancyrodella* y *Palmatolepis*.

COLORACIONES DE ALTERACIÓN POR TEMPERATURAS

Debido a que los afloramientos pudiesen haber sido afectados por alguna fuente térmica, esto permite a los conodontos su utilización como termo-marcadores mediante la observación de los colores que adoptaron, confiriéndoles un rango de temperatura según sea su coloración:

- Oscuro-marrón 190°C-300°C.
- Negro 300°C-480°C.
- Café crema 440°C-610°C.
- Colores claros hasta cristalinos 600°C-720°C.

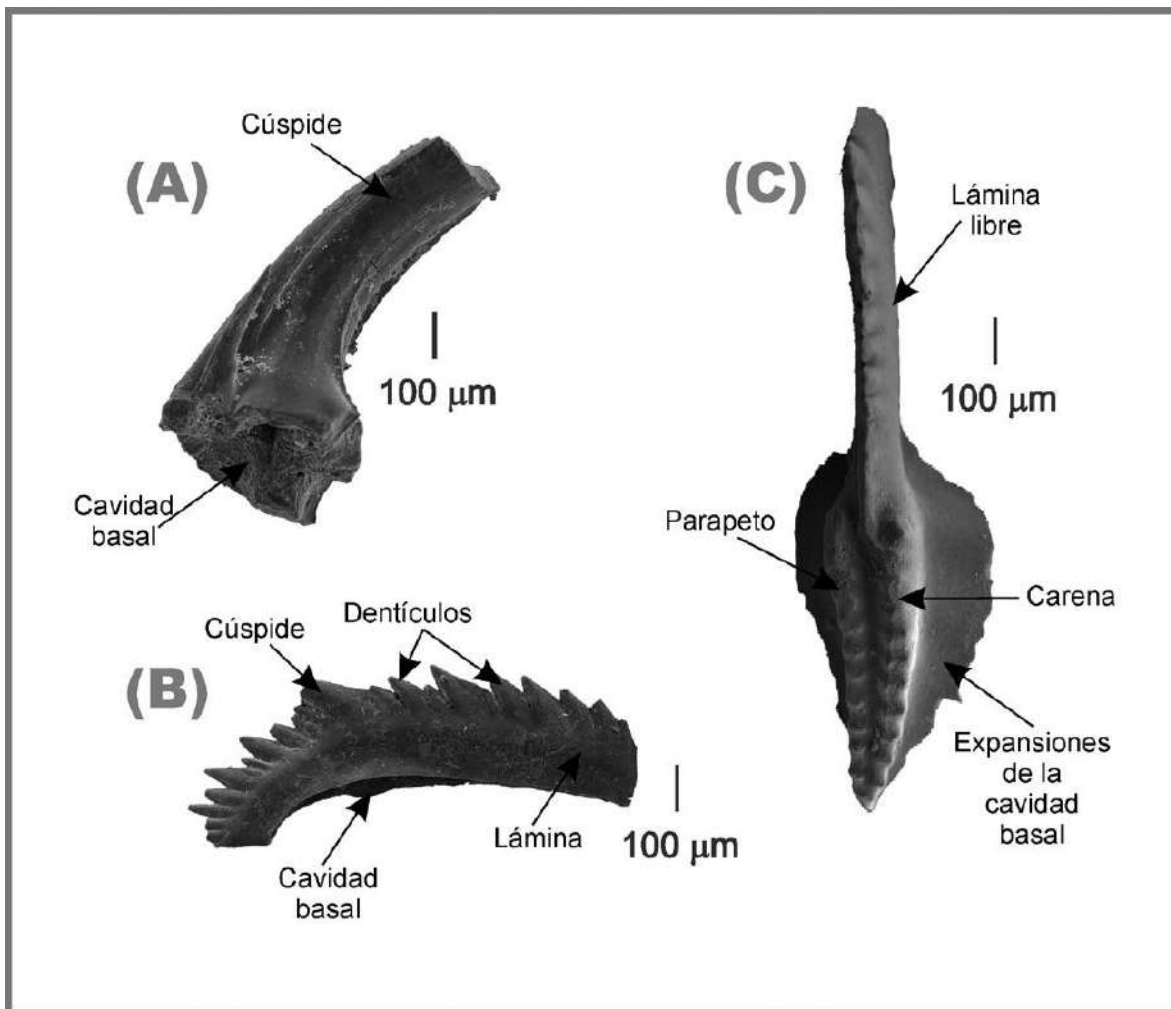


Figura 15. Clasificación morfológica básica de los conodontos: a) conodontos simples, b) conodontos compuestos y c) conodontos de plataforma, con algunos términos descriptivos. Obtenido de Blanco-Ferrera y Sanz-López, 2012.

En el trabajo solo se encontraron conodontos simples y compuestos (ramiformes); se centra en su descripción y semejanzas con otras especies del Ordovícico que guarden un gran parentesco con las descripciones de éstos.

El organismo está provisto de una constitución blanda en su mayoría, a excepción de sus elementos conodontales, parte de su aparato bucal, son los únicos remanentes quitinofosfáticos que fosilizan; aun así, ha habido casos excepcionales y escasos donde se encuentran impresiones de su cuerpo, las cuales fueron descritas por Briggs *et al.*, (1983) y Aldridge *et al.*, (1993) como pertenecientes a un animal de pequeño tamaño (22- 55 mm de longitud) con cabeza reducida, en la que se encontraba el aparato de alimentación. El cuerpo era alargado y terminaba en una cola con aleta caudal. Pese a estos hallazgos importantes, la asignación paleobiológica de los conodontos aún no está clara. Para unos

autores (Blieck, *et al.*, 2010) los conodontos son un grupo extinto de cordados marinos, mientras que para otros (Aldridge *et al.*, 1993) se trataría de vertebrados primitivos.

Los conodontos tienen dos aplicaciones geológicas fundamentales: estudios bioestratigráficos y de correlación de rocas sedimentarias. Estas aplicaciones se basan en su amplio registro estratigráfico durante el Paleozoico, desde el Cámbrico al terciario. Así como termo-indicadores de procesos posteriores a su diagénesis y litificación.

Su pequeño tamaño y su abundancia relativa en las rocas sedimentarias permiten obtener un gran número de ejemplares en muestras reducidas. Su amplia distribución geográfica en los mares del pasado facilita que una especie se encuentre al mismo tiempo en muchas partes del globo, criterio básico en los estudios de correlación de las rocas. Además, la morfología de los conodontos varía rápidamente a lo largo del tiempo, de modo que las especies del grupo han tenido una vida media muy corta y son útiles para caracterizar intervalos cortos de tiempo (menos de un millón de años). Su alta resolución bioestratigráfica ha hecho que sean considerados como los marcadores de los límites de las unidades de tiempo entre el Ordovícico y el Pérmico (Blanco-Ferrera y Sanz-López 2012).

La clasificación sobre conodontos se basa en ciertas características de su morfología y carácter de intercrecimiento lamelar de los elementos conodontales; así creándose dos clasificaciones útiles para este trabajo:

Clasificación de elementos conodontales según rasgos morfológicos:

- **Elementos Coniformes.** Son cúspides cónicas y curvadas. El extremo oral es puntiagudo, mientras que el extremo aboral es expandido y con una perforación cónica llamada cavidad basal. La cresta anterior es convexa, mientras que la posterior es cóncava.
- **Elementos Ramiformes.** Morfológicamente son finas láminas o barras que están compuestos de un denticulo con cúspide de mayor tamaño rodeado en sus laterales en el resto de la lámina con denticulos accesorios de menores dimensiones (secundarios). La cúspide principal de la superficie oral se identifica por su mayor tamaño y por estar situada encima de la parte más profunda que se abre en la cavidad basal de la superficie aboral.

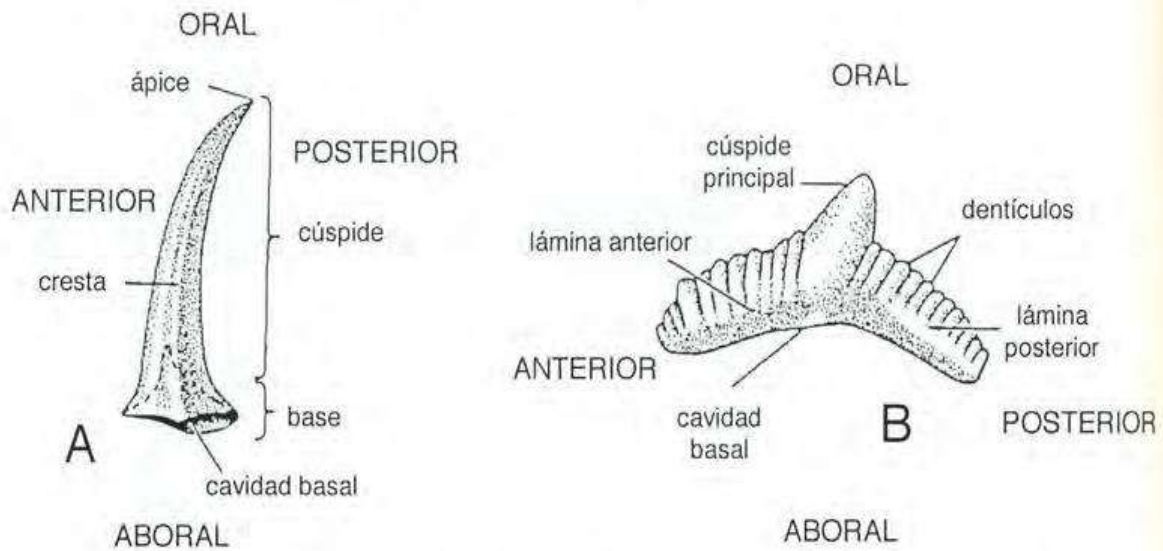


Figura 16. Nomenclatura de los elementos coniformes (A) y ramiformes (B). Modificado de Braiser (1980).

El crecimiento comienza en el centro del elemento y se van añadiendo las lamelas en varias direcciones. Durante el crecimiento pueden quedar espacios interlamelares ocupados por materia orgánica, que se distingue por tener un color más oscuro.

El estudio de la estructura de las secciones axiales de los elementos conodontales ha permitido definir tres grupos básicos: **Protoconodontos**, **Paraconodontos** y **Euconodontos**.

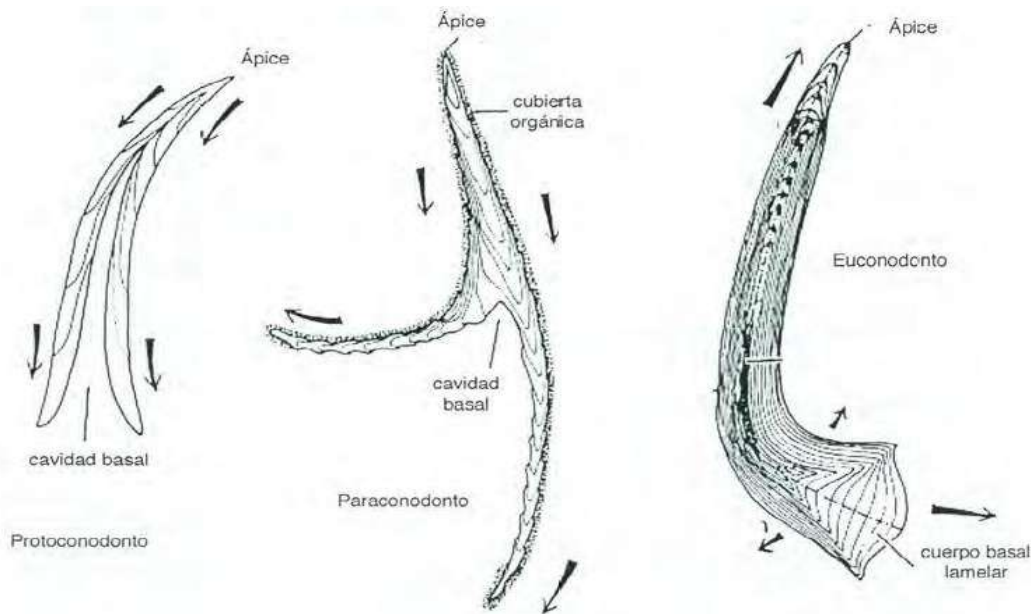


Figura 17. Secciones axiales de conodontos mostrando el crecimiento y su estructura interna. Modificado de Braiser (1980) por J.I. Canudo (2002).

Clasificación de elementos conodontales según estructuras de crecimiento lamelar:

Protoconodontos. Los elementos conodontales considerados más primitivos presentan esta estructura. Morfológicamente son conos ligeramente inclinados con profundas cavidades basales, que prácticamente ocupan toda la parte central del protoconodonto. Las lamelas son gruesas y están separadas por finas capas orgánicas. La distribución de las lamelas en las capas mineralizadas indica que el crecimiento comienza en el ápice y posteriormente se desarrolla en la superficie interna y en la base.

Paraconodontos. Al igual que los protoconodontos, son también cónicos. Pueden tener una cubierta orgánica que cubra el elemento y su crecimiento concéntrico comienza en el ápice. Se añaden pocas y gruesas lamelas que se dirigen hacia la dirección basal; estas lamelas pueden apenas traslaparse en los bordes oral y aboral formando una profunda y ancha cavidad basal, aunque en menor medida comparado con los protoconodontos.

Euconodontos. Son los elementos conodontales más típicos, por lo que se les suele considerar como los verdaderos conodontos. Estos se encuentran provistos de una división entre una corona hialina y un cuerpo basal, aunque puede estar totalmente unido. Ambos están constituidos por lamelas, pero distribuidas de manera distinta. Las lamelas de la corona son continuas alrededor de la superficie externa (oral y externamente), mientras que las del cuerpo basal se añaden aboral y lateralmente.

13.- PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Los conodontos obtenidos en este trabajo se caracterizan porque la mayor parte de estos corresponden a elementos conformes; con excepción de un elemento ramiforme (elemento K en la figura 18) del cual no fue posible identificar a nivel de género-especie al no encontrar en la bibliografía un ejemplar que corresponda con la descripción adecuada de éste, por lo tanto, es posible que se trate de una nuevo género o especie.

Especies identificadas dentro de la figura 18, que por utilidad se les denominará elementos:

1. *Acanthodus uncinatus* Furnish 1938. **C**
2. *Costiconus ethingtoni* Fåhraeus 1966. **J**
3. *Drepanodus arcuatus* Pander 1856: **B- F- M**
4. *Drepanodus reclinator* Lindström 1955. **P**
5. *Drepanodus subarcuatus* Furnish 1938. **E-G**
6. *Drepanoistodus forceps* Lindström 1955. **N**
7. *Drepanoistodus suberectus* Lindström 1955. **I**
8. *Protopanderodus gradatus* Serpagli. **H**
9. *Reutterodus andinus* Serpagli. **O**
10. *Rossodus manitourensis* Repetski & Ethington 1983. **A-S**
11. *Scolopodus striatus* Pander, 1856b **Q- R**



Figura 18. Lámina con elementos conodontales encontrados en cerro El Santísimo con línea de escala equivalente a 200 μm .

Género *Acanthodus* Pander, 1856

Especie tipo *Acanthodus uncinatus* Furnish, 1938

Acanthodus uncinatus Furnish, 1938

Figura 19, elementos C

1938, *Acanthodus uncinatus* Furnish, pp.336, pl. 42, fig. 30.

1998, *Acanthodus uncinatus* Furnish, Repetski, Loch y Ethington p.110, Fig.2, elemento W.

2010, *Acanthodus uncinatus* Furnish, Vitkus, pl.9, fig. 3, elemento 3.

Posición estratigráfica. Unidad 1, muestra SB-0, base de la columna.

Edad. Esta especie se encuentra bien representada en algunos de los afloramientos calcáreos en Blue Earth, Minnesota, E.U.A., pertenecientes al rango de Series del Cámbrico superior y Ordovícico Superior. Zona *Rossodus manitorensis* (Stewart *et al.*, 1999).

Diagnosis. Furnish (1938), describe a este elemento como diente distacoide, el cual contiene una hilera de dentículos sobre la parte posterior de su cúspide. Poseen una flexión curvada moderada desde una base ancha. Dicha cúspide se encuentra lateralmente comprimida y marcada por la presencia de dentículos inclinados. Se observa una cavidad basal cónica. Se aclara que en elementos conodontales los dentículos pueden estar ausentes y la prominencia de su denticulación puede o no tener dimensiones distintas entre especies.

Descripción. El ejemplar obtenido en este trabajo presenta una cavidad característica de los paraconodontos, la cual es amplia al inicio de la base y se hace estrecha rápidamente dejando una cúspide maciza o rellena. La cúspide presenta una curvatura moderada, desapareciendo en la zona del ápice. Al no encontrarse estructuras lineales, se observan pocas señales de fracturamiento de láminas, por lo que su composición estructural es lamelar.

Comentarios. Hay grandes similitudes entre las características del ejemplar de este trabajo y el de Furnish (1938), salvo que el elemento conodontal C mostrado en este trabajo, tiene un ápice faltante debido a que éste se encuentra fracturado y no es posible corroborar que contenga los dentículos mencionados como en la descripción de Furnish (1938), donde se menciona que los elementos más pequeños pueden carecer de los dentículos. Lo último es corroborado por Vitkus (2010) donde menciona descripciones de elementos de esta especie que presentan variaciones en el tamaño de los dentículos, e incluso ejemplares que carecían de ellos.

Género *Costiconus* Rasmussen, 2001

Especie tipo *Panderodus ethingtoni* Fåhraeus, 1966.

Costiconus ethingtoni (Fåhraeus, 1966)

Figura 19, elementos J

1966, *Panderodus ethingtoni* Fåhraeus, p. 26, fig. 5a–b.

1966, *Costiconus ethingtoni* Fåhraeus, p. 26, pl. 3, Figs. 6–7.

1974, *Walliserodus ethingtoni* Fåhraeus. Bergstrom, pl. 1, fig. 12; An & Ding, 1982: pl. 2, figs 7–8; An *et al.*, 1983: 162, pl. 26, figs 16–18; An & Xu, 1984; pl. 2, fig. 6; Wang & Lou, 1984: 288, pl. 3, figs 1–5; Chen & Bergstrom, 1995: pl. 8, figs 13–14; Wang *et al.*, 1996: pl. 1, fig. 15; Albanesi *et al.*, 1998: 114, pl. 14, figs 20–25, text-fig. 8.

2001, *Costiconus ethingtoni* Fåhraeus. Rasmussen, pags. 62–64, pl. 3, figs 16–18 (cum syn.); Zhen *et al.*, 2009a: 139–140, fig. 3A–W; Zhen *et al.*, 2009b: 31–33, fig. 4H–W (cum syn.); Viira, 2011: fig. 7O, Q.

2011, *Costiconus ethingtoni* Fåhraeus, Zhen *et al.*, p. 219, pl. 7, figs. A–E.

Posición estratigráfica. Unidad 6, muestra SB-8, parte superior de la columna.

Edad. Esta especie está bien documentada en la Formación Kanling por Zhou & Chen (1992) y Formación Yenwashan por Zhen *et al.* (2009) dentro de la Zona *Baltoniodus alobatus* dentro del Sandbiano (Ordovícico Superior).

Diagnosis. (Traducido de Zhen *et al.*, 2011). Basado en una gran colección de Dawangou, donde *Costiconus ethingtoni* se interpreta como un aparato de septimembrado conforme que incluye un elemento no geniculado de base corta, elementos con multicostae de base larga S (Sa, Sb, Sc and Sd), descritos por Zhen *et al.* (2009a), junto con elementos con variaciones en el número de elementos costae, y sin costae tipo Pa y Pb (Zhang, 1998c; Zhen *et al.*, 2009) de la cual se puede distinguir una base más corta y más posterior acampanada; sin embargo muestran una variación bastante amplia entre los elementos de base larga a una base relativamente corta.

Descripción. El ejemplar presenta dos características importantes que alojan a éste dentro del género *Costinodus* debido a su base amplia con una cavidad basal poco profunda, pero prominente, además de elementos multicostae de base larga en la parte lateral- frontal-interna de la cúpide (visible en el exterior del elemento conodontal). El margen basal-cúpide muestra ciertos surcos de compresión lateral entre los elementos costae. Por

estas características se puede mencionar que este ejemplar es un euconodonto debido a estructuras lineales presentes desde la base y cúspide.

Comentarios. La variación en las características de los elementos costae que presenta el género *Costinodus* diversas (en número y continuidad), por lo cual no fue un aspecto importante para discriminar los elementos del género, como fue explicado por Zhen *et al.* (2009) para la especie *Costiconus ethingtoni* en la paleontología sistemática de los ejemplares del área de Thompson Creek, Nueva Zelanda.

Género *Drepanodus* Pander, 1856

Especie tipo *Drepanodus arcuatus* Miller, 1889

Drepanodus arcuatus Pander, 1856

Figura 19, elementos B, F y M

1856, *Drepanodus arcuatus* Pander, Figures 3.19, 3.20

1856, *Drepanodus arcuatus* Pander, p. 20, pl. 1, figs. 2, 4, 5, 17, 30, 31.

1955, *Drepanodus sculponea* Lindström, p. 567, pl. 2, fig. 40, text fig. 3L.

1955, *Scandodus pipa* Lindström, p. 593, pl. 4, figs. 38–42, text-fig. 3P; 1964 Ethington y Clark, p. 698, pl. 114, fig. 8.

1980, *Drepanodus arcuatus* Pander Hünicken y Sarmiento, p. 149, Lamina 2, Figura 16.

1981, *Drepanodus arcuatus* Pander. Ethington y Clark, p. 36–37, pl. 3, figs. 4–6, 12.

2003, *Drepanodus arcuatus* Pander; Löfgren y Tolmacheva, p. 211–215, figs. 2, 3A–C, E–H, 5K–V, 6M–U, 7H–N, 8A–G.

Posición estratigráfica. Unidad 3, muestra SB-4, parte media de la columna.

Edad. Elementos conodontales dentro de la zona *Prioniodus elegans* del Floiano, referente al Ordovícico Inferior-Medio (Hünicken y Sarmiento, 1980).

Diagnosis. Pander (1856) describe a *Drepanodus arcuatus* sin designar la especie tipo. Miller (1889) determinó el escoger el tipo de especies de *Drepanodus*, pero no seleccionó la especie tipo de los elementos ilustrados por Pander (1856). El aparato conodontal de *Drepanodus arcuatus* fue reconstruido por primera vez por Lindström (1971) quien describió dos tipos de elementos, drepanodiformes y oistodiformes, referentes a las

diferencias que se presentan dentro de las curvaturas que presentan los aparatos de esta especie, como las descritas por Evernden *et al.*,(1988) en especies del género *Drepanodu*. Las características el aparato conodontal de la especie han sido descritas recientemente por Löfgren y Tolmacheva (2003), la cual es una nueva reconstrucción del aparato incorporando todos los elementos identificados por Dzik (1994).

Descripción. Los elementos conodontales coniformes obtenidos destacan por tener una cavidad basal más abierta y amplia que las demás, con una cúspide alargada y curvada en una forma de espada, disminuyendo su curva conforme llega al ápice. Con base en la descripción morfológica de los elementos (B más conservado que M), y su disposición lamelar en capas largas y gruesas conforme desde la parte media de la cúspide hasta el ápice, se determina que se trata de un paraconodonto.

Comentarios. Las características del elemento conodontal tiene semejanzas con los encontrados por Löfgren y Tolmacheva (2003), al igual que en el trabajo de Dzik (1994); sin embargo, la localización es diferente al sugerido por Dzik. Las morfologías de los elementos encontrados son más semejantes a los documentados por Löfgren y Tolmacheva (2003). Igualmente se ha optado por guiarse por el modelo de clasificación descrito e ilustrado en los trabajos de Brasier (1980) y J.I. Canudo (2002).

Drepanodus reclinatus (Lindström, 1955)

Figura 19, elementos P

1955, *Drepanodus reclinatus*? Lindström, pl. 3, fig. 18.

1955, *Acontiodus reclinatus* n. sp. Lindström, p. 548, pl. 2, figs. 5-6.

Acontiodus robustus Hadding. Bradshaw, p.1148, pl. 131 figs. 8, 10, ?13-14.

2003, *Drepanodus reclinatus* Lindström. Löfgren y Tolmacheva, p. 216-217, fig. 5: A-J, fig. 7: A-G (cum. syn.); Zeballo, Albanesi y Ortega 2008, fig. 4: 11; Zhen, Wang, Zhang, Bergström, Percival y Cheng 2011, p. 222, fig. 11: A-P.

Posición estratigráfica. Unidad 6, muestra SB-7, parte sub-superior de la columna.

Edad. Ejemplares pertenecientes a la Zona *Baltoniodus navis* del Dapingiano, Ordovícico Medio (Lemos, 1981).

Diagnosis (Traducido de Löfgren y Tolmacheva, 2003). Se reporta la presencia de especímenes referentes a *Drepanodus reclinatus* en la Formación Santa Rosita. Estos incluyen características similares *Drepanodus arcuatus*, pero con costillas laterales. Un elemento alargado, más recto que *Acanthodus*, fuertemente curvado en la base, con

bordes anteriores y posteriores afilados, con elementos costae débilmente presentes (Lindström, 1955).

Descripción. El ejemplar presenta una cavidad basal amplia con una continuidad interna de la cúspide, presenta una forma de cuerno con una curvatura fuerte continua por todo el cuerpo de la cúspide extendiéndose hasta un ápice de punta redondeada. Se observan estructuras de lineaciones delgadas desde la parte basal hasta el ápice de forma interrumpida e ininterrumpida.

Comentarios. Los elementos presentados por Löfgren y Tolmacheva (2003) tienen una similitud mayor con los encontrados en la formación El Santísimo (elemento P, figura 18), desde el punto de vista morfológico, dimensiones del grosor de sus cúspides y ápices entre puntiagudos y puntas redondeadas. El elemento de Zeballos, Albanesi y Ortega (2008) consta de una estructura más alargada y grande que los de este trabajo, por lo que tiene una similitud más disminuida, sin embargo, compatible con su descripción.

Drepanodus subarcuatus Furnish, 1938

Figura 19, elementos E y G

1933, ?*Drepanodus arcuatus*, Branson y Mehl, Missouri Univ. Studies, vol. 8, p. 58, pl. 4, figs. 7, 8, 13.

1938, *Drepanodus subarcuatus* Furnish, pl. 41, figs. 25-32; pl. 42, figs. 2, 3.

Posición estratigráfica. Unidad 3, muestra SB-4, parte media de la columna.

Edad. Zona *Prioniodus elegans* del Arenigiano, Ordovícico Inferior-Medio (Higgins, 1967).

Diagnosis. (Traducido de Furnish 1938) Elemento simple, con una cúspide recta y ligeramente expandido hacia la base. Estructuras en partes anterior y posterior con forma de quillas en una cúspide curvada fuertemente (encima de la base), similar a una cuchilla con caras laterales ligeramente aplanadas. Debido a que la cúspide es delgada y con forma de cuchilla, la mayoría de los especímenes están rotos en las porciones apicales. Algunas variaciones en elementos de la misma especie se pueden observar en Shakopee, Minnesota, E.U.A., donde los elementos presentan una cúspide relativamente más esbelta y redondeada que los especímenes típicos, en lugar de una morfología de cuchilla en las porciones basales de la cúspide.

Descripción. Los elementos recolectados presentan características similares a las descritas por Furnish (1938), con una cúspide delgada, alargada acabando en ápices afilados; Tiene una base cónica con una cavidad basal de poca profundidad. Lo diferente en estos

elementos es la estructura de surco que se encuentra en la parte interior de la curvatura de la cúspide de forma incontinua sin llegar al ápice. De acuerdo con las características de estructuras poco visibles microscópicamente, su cavidad basal cónica que termina con una curva pronunciada al iniciar la cúspide de los elementos concuerda con el orden euconodonto.

Comentarios. En las comparaciones de los elementos E y G las características son similares a Furnish (1938); sin embargo, las imágenes son poco descriptivas de sus ejemplares, por lo cual son limitantes para determinar una similitud exacta.

Género *Drepanoistodus* Lindström, 1971

Especie tipo *Oistodus forceps* Lindström, 1955.

Drepanoistodus forceps, 1971

Figura 19, elementos N

1955, *Acodus gratus* Lindstrom, pag. 545, pl.1.2, figs. 27-29.

1955, *Drepanodus planus* Lindstrom, p. 565, pl.1.2, figs. 35-37, Text-fig. 4a; LINDSTROM 1960, fig. 3, no. 13; VIIRA, 1967, fig. 1.

1971, *Drepanoistodus forceps* Lindstrom, p. 42-43, figs. 5, 8; SERPAGLI, 1974, p. 30-31, P1. 10, figs. 8a-12c, P1. 21, figs. 9-14; Van Wamel, 1974, p. 64-65, P1. 2, figs. 14-22.

1998, *Drepanoistodus forceps* Lindström; Albanesi, p. 136, pl. 3, figs. 19–22.

2001, *Drepanoistodus forceps* Lindström; Rasmussen, pp. 74–75, pl. 6, figs. 1–6.

2001, *Drepanoistodus forceps* Lindström; Sarmiento et al., pp. 537–538.

2002, *Drepanoistodus forceps* Lindström; Pyle y Barnes, p. 63, pl. 19, figs. 11–12.

2007, *Drepanoistodus forceps* Lindström; Zhen et al., pp. 130–132, pl. 1, figs. 1–16.

Posición estratigráfica. Unidad 4, muestra 5, centro de la columna.

Edad. Hünicken y Sarmiento (1980) determinan elementos *Drepanoistodus forceps* en la Zona *Prioniodus elegans* del Floiano medio (Ordovícico Inferior).

Diagnosis. Varios autores (Löfgren, 1978; Dzik, 1994; Albanesi, 1998; Rasmussen, 2001; Zhen *et al.*, 2007) describieron las características del aparato de esta especie, que fue reconstruido por primera vez por Lindström (1971), así como las diferencias con otras formas similares. Löfgren (2005) describió la arquitectura del aparato conodontal del género *Venoistodus*, que incluye elementos oistodiformes que se han confundido frecuentemente con los elementos homólogos de su antecesor *Drepanoistodus forceps*. El elemento figurado por Pyle y Barnes (2002) como M de *D. forceps* puede pertenecer al elemento M de *Paroistodus originalis* (Sergeeva, 1963).

Descripción. El ejemplar encontrado tiene varias partes fracturadas, entre ellas el ápice por lo que la cúspide es recta en forma de cuchilla ancha y corta. Presenta una cavidad basal fracturada de gran tamaño lateralmente comprimida. Se trata de conodonto de carácter geniculado con un recurvado dentro del margen basal-cúspide muy característico en forma de ángulo de 30° en escuadra. Debido a sus características de gran cavidad basal, estructuras de constitución lamelar se considera como un elemento del tipo paraconodonto.

Comentario. De acuerdo con Lindström (1971) esta especie contiene elementos con pocas variaciones en la recurvatura, la cúspide en varios especímenes se muestran apéndices laterales, donde la cavidad basal no comprende una forma ovalada y alargada como se muestra en el ejemplar N de este trabajo.

Drepanoistodus suberectus (Branson & Mehl, 1933b)

Figura 19, elementos I.

1933, *Oistodus suberectus*, Branson and Mehl, p. 111, pl. 9, fig. 8.

1981, *Drepanoistodus suberectus* (Branson and Mehl), McCracken and Barnes, p. 77, pl. 3, figs 1–6.

1982, *Drepanoistodus suberectus* (Branson and Mehl); Sweet, pl. 1, figs 7–8, 11, 18–19.

1988, *Drepanoistodus suberectus* (Branson and Mehl); Nowlan et al. p. 16, pl. 3, figs 19–22.

1990, *Drepanoistodus suberectus* (Branson and Mehl); Armstrong, p. 130, pl. 22, figs 7–10.

2000, *Drepanoistodus suberectus* (Branson and Mehl); Leslie, p. 1124, figs 5.16–5.19.

2005, *Drepanoistodus suberectus* (Branson and Mehl); Sansom y Smith, p. 37, lamina 1, figs 1–2, 7–8, 12.

Posición estratigráfica: Unidad 4, muestra SB-5, centro de la columna.

Edad. Ejemplar perteneciente a la Zona *Prioniodus elegans* del Floiano Medio (Hünicken y Sarmiento, 1980; Lehnert, 1993).

Diagnosis. Los especímenes de South Piney Creek, Wyoming, E.U.A. están en gran parte rotos, pero parecen ser similares a los “q” elementos ilustrados por Nowlan *et al.* (1988) y los elementos “p” de Armstrong (1990), aunque la curvatura parece ser mayor en sus cúspides. Algunos los especímenes también pueden representar los elementos “r” y “p” de Nowlan *et al.* (1988) y los elementos “sq” y “aq” de Armstrong (1990).

Descripción. El elemento encontrado presenta un cuerpo en forma de cuchilla en el que la cúspide posee una ligera curvatura prolongada hasta el ápice, el cual no puede ser descrito debido a que el ejemplar se encuentra fragmentado en la porción del ápice. Este presenta una cavidad basal poco profunda (hasta donde empieza el ápice) pero de abertura amplia, comprimida en sus laterales y de mayor anchura que la cúspide de cuchilla. Este ejemplar se encuentra compuesto por estructuras de tipo lamelar. Con las características referidas anteriormente se puede determinar que el ejemplar es un paraconodonto.

Comentarios. El ejemplar encontrado en este trabajo presenta mayores dimensiones en comparación con los elementos encontrados en el trabajo de Sansom *et al.* (2005), pero con características de sus cúspides similares, por lo que se utilizaron estos como elementos favorables para la clasificación, y no con los observados en el trabajo de Nowlan *et al.* (1988). debido a que estos elementos presentan una curvatura más pronunciada que los del presente trabajo.

Género *Protopanderodus* Lindström, 1971

Especie tipo *Acontiodus rectus* Lindström, 1955

Protopanderodus gradatus Serpagli, 1974

Figura 19, elementos H

1967, *Paltodus variabilis* Furnish y Higgins, fig. 2.7.

1974, *Protopanderodus gradatus* Serpagli, pp. 75-77, lamina 15, figs. 5a- 8b; lamina 26, figs. 11-15.

1976, *Protopanderodus gradatus* Serpagli, Landing, p. 639, lamina 4, figs. 8, 9, 11, 12.

1982, *Protopanderodus gradatus* Serpagli, Ethington y Clark, pp. 84-85, lamina 9, figs. 16, 17, 20, 21.

1982, *Protopanderodus gradatus* Serpagli, Repetski, p. 39, lamina 17, fig. 6 U, Z, AA.

1988, *Protopanderodus gradatus* Serpagli, Stouge y Bagnoli, pp. 136-137, lamina 14, figs. 912.

Posición estratigráfica: Unidad 3, muestra SB-3, parte centro-inferior de columna.

Edad. Elementos pertenecientes a la Zona *Paroistodus proteus* determinada por Bultynck y Sarmiento (2003) entre el Tremadociano y Floiano (Ordovícico Inferior).

Diagnosis. (Traducido de Smith, Geoscience 1991): Serpagli (1974) hace mención sobre su cercano parecido con otros especímenes de los géneros *Scolopodus* y *Scandodus*. Elementos de *Protopanderodus gradatus* fueron descritos por Ethington y Clark (1982) de forma transicional entre los dos miembros de la Formación Cape Weber; estos elementos son similares a los encontrados por Serpagli (1974). Las características de los componentes del aparato *Protopanderodus gradatus* es una base corta, una cúspide con una pequeña curva lateral y erecta. Repetski (1982) menciona que en sus elementos están provistos de acostae, elementos comprimidos sobre la cúspide en sección curva interior lateral.

Descripción. El ejemplar obtenido presenta una estructura conforme con un margen transicional entre la base y la cúspide poco visible, cavidad basal cónica de base redondeada, lo que demuestra puntos diferenciales entre estos, como el grosor que va disminuyendo gradualmente desde la cavidad basal hasta la cúspide erecta con una curvatura poco pronunciada. Carece de ápice, debido a que está fracturado, dejando ver una cúspide de estructura frontal circular de continuidad cónica. Está provisto de estructuras costae en la parte interior de la curvatura del ejemplar visibles como

protuberancias en lineamientos de la base y cúspide. Las estructuras lamelares presentes en el ejemplar y una cavidad basal cónica denotan características típicas de los paraconodontos.

Comentarios. Las variaciones entre los especímenes encontrados por Serpagli (1974) poseen mayor afinidad que los encontrados por Repetski (1982) en las ilustraciones de sus ejemplares en comparación con el elemento H de este trabajo. Debido a procesos de cristalización sobre los elementos que crearon un tipo de deterioro del elemento conodontal, además de fracturamiento de la parte basal y la completa desaparición del ápice dificulta definir la similitud con elementos de la misma especie de los trabajos de Ethington y Clark (1982) y Stouge y Bagnoli (1988).

Género Reutterodus Serpagli, 1974

Especie tipo *Reutterodus andinus* Serpagli, 1974

Reutterodus andinus Serpagli, 1974

Figura 19, elementos O

1974, *Reutterodus andinus* sp. n. Serpagli, p. 79-81, pl.17: 9a-d; pl. 28, figs 1-9b; text-figs 19-20.

1982, *Reutterodus andinus* Serpagli. Ethington y Clark, p. 91, lamina 10, fig.18.

1982, *Reutterodus andinus* Serpagli. Repetski, p. 41, lamina 18, fig. 7; lamina 19, figs. 1-3.

1995, *Reutterodus andinus* Serpagli. Lehnert, p. 122, pl. 7: 9-13.

Posición estratigráfica. Unidad 4, muestra SB-5, centro de la columna estratigráfica.

Edad. Dentro de la Caliza San Juan se mencionada la especie por primera vez en la Zona *Prioniodus elegans*. Es un representante importante de la Zona de *O. evae* del Floiano junto con su designación por el sistema de clasificación norteamericana como Zona *Reutterodus andinus* en el trabajo de Lehnert (2013) en la frontera del Floiano y Dapingiano (Ordovícico Inferior-Medio).

Diagnosis. Serpagli (1974) describió un aparato con elementos coniformes con una transición simétrica hasta elementos bordados, los cuales no se encontraron en el Grupo Pogonip de (Wilson, 1988); solo se encontraron los elementos coniformes que fueron reportados en las Formaciones Fillmore y Wah Wah (Ethington y Clark, 1982) y el Grupo El Paso (Repetski, 1982).

Descripción. El elemento encontrado se diferencia de los demás por ser un ejemplar muy simple conforme con estructuras lineales propias de los euconodontos, que tiene una cúspide con una curvatura insipiente desde el margen base-cúspide hasta terminar en un ápice fracturado y faltante. La sección basal del ejemplar se observa incompleta; sin embargo, se puede ver que se trata de una cavidad basal cónica de poca profunda, y cuyo margen base-cúspide se aprecia al iniciar la curvatura del elemento conodontal.

Comunicación. *Reutterodus andinus* tiene características simples que por lo general no varían, basándose en los elementos encontrados de Serpagli (1974) y los elementos descritos por Lehnert (1995), los cuales fueron útiles para determinar la especie del elemento O del cerro El Santísimo.

Género *Rossodus* Repetski and Ethington, 1983

Especie tipo *Rossodus manitouensis* Repetski y Ethington, 1983.

Rossodus manitouensis Repetski y Ethington, 1983

Figura 19, elementos A y S

1983, *Rossodus* Repetski y Ethington, lamina 2, figura 9-11, p. 293, figs. 1A-V, 2A-T, 3A-R, 4A-D [sinonimia de 1982]; Landing y otros, 1986, p. 1940, pl. 2, figs. 10, 11, 14, non 18.

Nuevo Género A, n. sp. A., Repetski and Perry, 1980, pl. 1, figs. 4, 6, pl. 2, figs. 11, 12, 15; Repetski, 1982, p. 56, pl. 28, figs. 1-4.

Nuevo Género A, n. sp. A., Repetski and Perry, 1980, pl. 1, figs. 4, 6, pl. 2, figs. 11, 12, 15; Repetski, 1982, p. 56, pl. 28, figs. 1-4.

2008, *Rossodus manitouensis* Repetski y Ethington. Agematsu et al., Pl. 1, figs. 1-4.

Posición estratigráfica. Unidad 1, muestra SB-1, base de la columna estratigráfica.

Edad. Elementos pertenecientes a la Zona de *Macerodus diana* dentro del Tremadociano medio, Ordovícico Inferior (Fåhræus y Nowlan, 1978; Ethington y Clark. 1981).

Diagnosis. Repetski y Ethington (1983) describieron el aparato de *Rossodus manitouensis*, incluyendo elementos oistodontiformes y con forma de hoja de espada conforme que muestran simetría-transición. Repetski y Ethington notaron la similitud con los elementos conformes y la serie de simetría-transición a los elementos de *Juanognathus*. La mayor diferencia entre estos dos aparatos es la ausencia de elementos oistodontiformes en los aparatos de los *Juanognathus*. Existe una similitud entre los aparatos de *Rossodus* y

Utahconus, también reconocidos por Repetski y Ethington (1983) con la presencia de elementos oistodontiformes en *U. tenuis* (Miller), reasignando a éste al género *Rossodus*.

Descripción. El elemento conodontal conforme A presenta una cúspide en forma de espada que se va curvando ligeramente conforme llega al ápice; con una cavidad poco estrecha profundizando por toda la cúspide y de pequeño grosor, pero de mayor grosor y apertura en la cavidad basal. Se muestran estructuras verticales fibrosas lamelar en la cúspide, al igual que en la cavidad basal se presentan lineamientos de intercrecimiento lamelar, esto debido a que la parte ante-lateral del elemento esta al descubierto debido a una la perdida de las paredes basales interna. Los ejemplares estaban muy deteriorados por alteración térmica con cristales de calcita pegados a su estructura.

Comentarios. Fue reportado en Norteamérica en Narrow Passage Creek y Timberville por Repetski y Ethington (1983), al igual que en dos localidades de Sonora, Sierra Agua Verde (Villa Pesqueira) en la Zona *Rossodus manitourensis* (Stewart et. al. 1999), y cerro el Santísimo, Arivechi (Reyes-Montoya, 2017).

Género *Scolopodus* Pander, 1856

Especie tipo *Scolopodus sublaevis* Pander (Ulrich y Bassler, 1926).

Scolopodus striatus Pander, 1856

Figura 19, elementos Q y R

2006, *Scolopodus striatus* Pander. Tolmacheva, p. 284, figura 8. A-I.

2002, *Scolopodus subrex* Pule y Barnes, p. 197, Lamina 14. Figs. 15-20.

1955, *Scolopodus rex* sp. nov.; Lindström 1955: p.595 y 596, pl. 3: 32.

1955, *Scolopodus rex* sp. nov. var. *paltodiformis* nov.; Lindström 1955: p. 596, pl. 3: 33, 34.

1964, *Scolopodus rex* Lindström; Lindström 1964: p. 37, figs. 10H, 47h.

Posición estratigráfica. Unidad 1, muestra SB-1, base de la columna estratigráfica.

Edad. Ejemplares correspondientes a la Zona *Macerodus diana* (Fåhræus y Nowlan, 1978; Ethington y Clark. 1981) dentro del Tremadociano (Ordovícico Inferior).

Diagnosis. Sachiko y Katsuo (2016) describen elementos del género *Scolopodus* de cuerpo extendido de ápice afilado desde su cúspide curvada hasta una cavidad basal corta. Fuera de la línea del margen basal se encuentran una serie de “costillas” o costae en vistas laterales isovalinaboral. Se describe que entre la variación de estas estructuras costae sus

especímenes pueden relacionarse a *Scolopodus quadratus* Pander, 1856, pero es similar a las características de *Scolopodus subrex* Pyle & Barnes (2002). La descripción de Tolmacheva (2006) documenta y caracteriza de manera inmejorable la descripción del aparato de *Scolopodus striatus* con las distintas variaciones de costae en las cúspides, junto con la apertura de la cavidad basal de los ejemplares obtenidos en Rusia y Estonia.

Descripción. Lo primero que resalta para poder describir a los elementos conodontales son sus estructuras visibles en sus laterales, cuatro costillas o costae que recorren toda la cúspide donde empieza una curvatura pronunciada a la mitad de ésta, creando un ángulo mayor a 90° entre base y ápice, terminando su lineamiento antes de llegar al ápice. Su cavidad basal se puede observar que se amplía, pero alargada y poco abierta en vista lateral. Se trata de un elemento coniforme que presenta las características estructurales de un elemento del orden euconodonto por su presencia de cavidad basal alargada con un ápice intacto, alargado y de punta redondeada a puntiaguda con estructuras de estrías alargadas visibles a lo largo de la cúspide.

Comentarios. Los elementos encontrados por Reyes-Montoya (2017) dentro del cerro El Santísimo presentan características morfológicas similares, pero cuenta con un costae menos que los ejemplares Q y S encontrados entre las unidades 2 y 3 de la formación Santísimo, atendiendo estos más a las características de los ejemplares Bálticos de Tolmacheva (2006).

ORDOVICICO			Biozonas de conodontos	Conodontos encontrados en Cerro El Santísimo
			SUPERIOR	SANDBIANO
MEDIO	DARRIWILIANO			
	DAPINGIANO	Baltoniodus navis	<i>Drepanodus reclinatus</i>	
INFERIOR	FLOIANO	Reutterodus andinus	<i>Reutterodus andinus</i>	
		Prioniodus elegans	<i>Drepanoistodus forceps</i> <i>Drepanoistodus suberectus</i> <i>Drepanodus subarcuatus</i> <i>Drepanodus arcuatus</i>	
	TREMADOCIANO	Paroistodus proteus	<i>Protopanderodus gradatus</i>	
Macerodus diana		<i>Scolopodus striatus</i>		
		Rossodus manitorensis	<i>Acanthodus uncinatus</i> <i>Rossodus manitorensis</i>	

Figura 19. Tabla de Biozonas de conodontos del cerro El Santísimo.

14.- DISCUSIONES

La caracterización de la formación El Santísimo en este trabajo concuerda con las descripciones litológicas y fosilíferas de Reyes-Montoya (2017), puesto que el trabajo de Almazán-Vázquez (1989) es inexacto, ya que éste describe predominantemente una secuencia de lutitas calcáreas y discrepancia entre el contacto entre la formación El Santísimo y formación La Huerta por lo que se piensa que la relaciones estratigráficas entre estas formaciones se encuentra en la parte norte del cerro y alejado del cerro Mogallón.

Se encontraron caracterizadas discrepancias con la edad de la fm. El Santísimo, ya que los conodontos descritos por Reyes-Montoya (2017) son pertenecientes mayormente a las biozonas *Rossodus manitorensis* y *Macerodus diana* (Ordovícico Inferior) referente a la base del cerro El Santísimo. Mientras que éste trabajo describe una secuencia más completa, ya que allí se encontró un rango más amplio de biozonas, desde la Zona *Prioniodus elegans* hasta Zonas *Baltoniodus alobatus*.

El comportamiento de la secuencia calcárea de la fm. El Santísimo se ve bastante similar a la Formación Pozo Nuevo descrita por Almazán *et al.* (2006) y Ávila-Angulo (1987) del racho Pozo Nuevo (norte de Hermosillo), al igual que con la formación El Boquinete (noreste de Villa Pesqueira) en las tesis de Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993) y Reyes-Montoya (2017), por la intercalación de calizas con arcillas, la presencia de grandes nódulos de pedernal negro y conodontos ordovícicos, por lo cual se considera que es certera una correlación entre las secuencias.

15.- CONCLUSIÓN

Se determinó un alcance estratigráfico de la secuencia de rocas del Ordovícico Inferior al Ordovícico Superior mediante la identificación de los conodontos en asociaciones con sus respectivas Biozonas:

Rossodus manitorensis, *Acanthodus uncinatus* y *Scolopodus striatus* son determinantes para la identificación de la zona *Macerodus diana*, referente al Tremadociano inferior; sin embargo, hablando poblacionalmente su fauna en la fm. El Santísimo está dada por de *Drepanoistodus forceps*, *Drepanoistodus suberectus*, *Drepanodus subarcuatus* y *Drepanodus arcuatus* en la parte inferior del cerro El Santísimo en donde se presentan calizas intercaladas con margas en estratos con diferentes echados por todo el arroyo que deja al descubierto la secuencia completa.

La presencia de los elementos de *Reutterodus andinus* y *Drepanodus reclinatus* en las unidades intermedias de la sección muestra el paso paulatino hacia el Ordovícico Medio del Floiano al Dapingiano entre las zonas *Reutterodus andinus* y *Baltoniodus navis*.

La especie *Costiconus ethingtoni* presente en ejemplares de las unidades superiores de la sección determina el elemento transicional del Ordovícico Medio al Superior (del Darriwiliano al Sandbiano inferior) constituyendo a la zona *Baltoniodus alobatus*.

Se reportan por primera en el área de Arivechi los conodontos *Acanthodus uncinatus*, *Drepanodus subarcuatus*, *Protopanderodus gradatus*, *Drepanoistodus suberectus*, *Costiconus ethingtoni*, *Drepanoistodus forceps*, *Reutterodus andinus*, *Drepanodus reclinatus* y *Scolopodus striatus*.

La gran cantidad de biozonas son correspondientes a la clasificación "North American Mid-Continent", Mar de China, Precordillera Argentina y la provincia Balto-Escandinava, lo que significa que los conodontos encontrados vivían en aguas cálidas de ambiente somero con fauna pelágica.

REFERENCIAS

- Agematsu, S., Sashida, K., & Sardud, A., 2008, Reinterpretation of Early and Middle Ordovician conodonts from the Thong Pha Phum area, western Thailand, in the context of new material from western and northern Thailand. *Paleontological Research*, 12(2), p. 181-194.
- Albanesi, G. L., Hünicken, M. A., & Barnes, C. R., 1998, Bioestratigrafía, biofacies y taxonomía de conodontes de las secuencias ordovícicas del Cerro Porterillo, Precordillera central de San Juan, R. Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 12, p. 1-249.
- Aldridge, R. J., Briggs, D. E. G., Smith, M. P., Clarkson, E. N. K., & Clark, N. D. L., 1993, The anatomy of conodonts. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 340(1294), p. 405-421.
- Almazan-Vazquez y Palafox Reyes J. J., 2002, El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México (resumen). *Unión Geofísica Mexicana*, 22, p. 333.
- Almazán-Vázquez, E., 1989, El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del Estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista del Instituto de Geología*, 8, p. 58-66.
- Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B. E., & Franco-Vega, O., 2006, Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 23(1), 23-38.
- Armstrong, H. A., 1990, *Conodonts from the Upper Ordovician-Lower Silurian carbonate platform of north Greenland* (Vol. 159). Grønlands geologiske undersøgelse.
- Ávila-Angulo, R., 1987, *Consideraciones geológicas y estratigráficas de la porción NW de Hermosillo: México, Universidad de Sonora, Departamento de Geología*. Tesis de licenciatura.
- Bartolini, C., Stewart, J. H., Carter, C., Murchey, B. L., Repetski, J. E., 1989, Stratigraphy of Paleozoic eugeoclinal strata in Sierra El Aliso, central Sonora, México: Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 1-2, p. 11-21.
- Bergstrom, S.M., 1988, On Pander's Ordovician conodonts: distribution and significance of the *Prioniodus elegans* fauna in Baltoscandia. - *Senckenbergiana lethaea* 69, p. 217-251.
- Blanco-Ferrera y Sanz-López, 2012, Los conodontos, pequeños termómetros enterrados en las rocas, *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, p.163, fig. 1.
- Blicek, A., Turner, S., Burrow, C. J., Schultze, H. P., Rexroad, C. B., Bultynck, P., & Nowlan, G. S., 2010, Fossils, histology, and phylogeny: why conodonts are not vertebrates. *Episodes*, 33(4), p. 234-241.

- Branson, E. B., & Mehl, M. G., 1933, Conodonts from the Harding sandstone of Colorado. *University of Missouri Studies*, 8, p. 19-38.
- Brasier, M. D., 1980, *Microfossils* (p. 193). London: G. Allen & Unwin.
- Briggs, D. E., Clarkson, E. N., & Aldridge, R. J., 1983, The conodont animal. *Lethaia*, 16(1), p. 1-14.
- Bultynck, P., & Sarmiento, G. N., 2003, Reworked Ordovician and autochthonous Siluro-Devonian conodonts from Khemis-n'Ga (Moroccan Meseta)-Depositional, environmental, and palaeogeographic implications. *COURIER-FORSCHUNGSINSTITUT SENCKENBERG*, p. 257-284.
- Dzik, J., 1994, Conodonts of the Mójca Limestone. - In: Dzik, J.; Olempska, E. & Pisera, A., eds., Ordovician carbonate platform ecosystem of the Holy Cross Mountains. – *Palaeontologica Polonica* 53: p. 43-128.
- Ellison, S., 1944, The composition of conodonts. *Journal of Paleontology*, p. 133-140.
- Ethington, R. L. DL, y Clark, 1981, Lower and Middle Ordovician conodonts from the Ibex area, western Millard County, Utah. *Brigham Young University Geology Studies*, 28, p. 155.
- Ethington, R. L. & Clark, D. L., 1982, Lower and Middle Ordovician conodonts from the Ibex Area, western Millard County, Utah. *Brigham Young University Geology Studies* 28 (2), 122 pp., 14 pls.
- Evernden, J. F., Criss, R. E., Cooke, G. A., Thomson, J. M., & Day, S. D., 1983, *An Organic Origin for the Carbonate Concretions of the Ohio Shale* (No. 1836-1839). US Government Printing Office, p. A1-A17.
- Fåhræus, L. E., & Nowlan, G. S., 1978, Franconian (Late Cambrian) to early Champlainian (Middle Ordovician) conodonts from the Cow Head Group, western Newfoundland. *Journal of Paleontology*, p. 444-471.
- Fåhræus, L. E., 1966, Lower Viruan (Middle Ordovician) conodonts from the Gullhogen quarry, southern central Sweden. *Sveriges Geologiska Undersokning*, 60(5), p. 1-40.
- Furnish, W. M., 1938, Conodonts from the Prairie du Chien (Lower Ordovician) beds of the upper Mississippi valley. *Journal of Paleontology*, p. 318-340.
- Higgins, A. C., 1967, The age of the Durine member of the Durness Limestone Formation at Durness. *Scottish Journal of Geology*, 3(3), p. 382-388.
- Hünicken, M. A., & Sarmiento, G. N., 1980, The Baltoscandian conodont *Prioniodus elegans* Pander (Lower Arenigian) from the San Juan Formation of the Precordillera, Guandacol River, La Rioja, República Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 53, p. 293-306.
- Ketner, K. B., 1986, Eureka quartzite in Mexico? —Tectonic implications. *Geology*, 14(12), p. 1027-1030.

- King, R.R., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico: Geological Society of America Bulletin, p. 1625-1722.
- Lehnert, O., 1995, The Tremadoc/Arenig transition in the Argentine Precordillera, p. 122, pl. 7: elementos 9-13.
- Lehnert, O., Stouge, S., & Brandl, P. A., 2013, Conodont biostratigraphy in the Early to Middle Ordovician strata of the Oslobreen Group in Ny Friesland, Svalbard [Conodontenstratigraphie im Unter- und Mittelordovizium der Oslobreen-Gruppe in Ny Friesland, Spitzbergen. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 164(1), p. 149-172.
- Lemos, V.B., 1981, *Conodontes ordovicianos da Formação San Juan, Precordillera*. Departamento Jáchal, Provincia de San Juan, República Argentina (Bioestratigrafía). *Anais II Congresso Latinoamericano de Paleontologia*, Porto Alegre, 1: p. 31-43.
- Lindström, 1955, Conodonts from the lowermost Ordovician strata of south-central Sweden. Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar 76: p. 517-604.
- Lindström, 1971, Lower Ordovician conodonts of Europe. - Mem. Geol., Soc. America, 127, p. 21-62.
- Löfgren, A. M., 1978, Arenigian and Llanvirnian conodonts from Jämtland, northern Sweden. - Fossils and Strata 13: p. 1-129.
- Löfgren, A. M., & Tolmacheva, T. J., 2003, Taxonomy and distribution of the Ordovician conodont *Drepanodus arcuatus* Pander, 1856, and related species. *Paläontologische Zeitschrift*, 77(1), p. 203-221.
- Löfgren, A. M., Viira, V., & Mens, K., 2005, Conodont biostratigraphy and sedimentary history in the upper Tremadoc at Uuga, Cape Pakri, NW Estonia. *GFF*, 127(4), p. 283-293.
- Lugo Hubp, J., 1990, Mapa geomorfológico del occidente de la Cuenca de México. *Investigaciones geográficas*, (21), p. 1-19.
- Miller, S.A., 1889, North American geology and paleontology for the use of amateurs, students and scientists. - 718 p., Cincinnati, Ohio (Western Methodist Book Concern).
- Minjarez-Sosa, I., Palafox, J. J., Torres, Y., Martinez, J. A., & Rodriguez, B., 1985, Consideraciones respecto a la estratigrafía y estructura del área de Sahuaripa-Arivechi: Universidad de Sonora, Departamento de Geología. *Boletín*, 2(1), p. 90-105.
- Montes, M., y Campillo, I., 1983, *Geología del yacimiento de barita de Cobachi, Sonora*. Tesis profesional, Departamento de Geología, UNISON, Hermosillo, Sonora, México, p. 67.
- Noll, J.H., Jr., 1981, Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, Mexico: Flagstaff, U.S.A., Northern Arizona University, M.Sc. Thesis, p. 165.

- Nowlan, G.S., McCracken, A.D. and Chatterton, B.D.E., 1988, *Conodonts from Ordovician-Silurian boundary strata, Whittaker Formation, Mackenzie Mountains, Northwest Territories*. Geological Survey of Canada Bulletin, 373: p. 99.
- Ochoa-Granillo, J. A., & Sosa-León, J. P., 1993, Geología y estratigrafía de la Sierra Agua Verde, con énfasis en el Paleozoico. Universidad de Sonora, Sonora, México.
- Palafox, J. J., y Martínez, J. A., 1985, Estratigrafía del área de Arivechi, Sonora: Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Boletín, 2, p. 30-56.
- Palafox, J. J., Minjárez, J. L., Pubellier, M., & Rascón, B., 1984, Sobre la presencia de rocas del Paleozoico Superior en el área de Arivechi, Sonora, México. Universidad de Sonora. Boletín del Departamento de Geología, 1(1), p. 60-62.
- Palafox-Reyes, J. J., 2011, Du Craton au Rhéique: le nord et le centre de l'état du Sonora (Mexique) au Paléozoïque supérieur (Dévonien-Pennsylvanien), lithostratigraphie, biostratigraphie, approche géochimique et implications géologiques (Doctoral dissertation, Lille 1), p. 315
- Pander, C.H., 1856, Monographie der fossilen Fische des Silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements. – 91 p., St. Petersburg (Akademie der Wissenschaften).
- Peiffer-Rangin, F., Echavarrri-Pérez, A., Salas-Pizá, G., & Rangin, C., 1980, Sur le présence de l'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Paris. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série D*, 290, 13-16.
- Poole, F. G., Stewart, J. H., Repetski, J. E., Harris, A. G., Ross Jr, R. J., Ketner, K. B., ... & Morales-Ramirez, J. M., 1995, Ordovician carbonate-shelf rocks of Sonora, Mexico, p. 267-273.
- Poole, F.G., Perry, W.J., Madrid, R.J., Amaya-Martínez, R., 2005, Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events and plate tectonic model: Geological Society of America Special Paper 393, p. 543-596.
- Pubellier, M., 1987, *Relations entre domaine cordillerain et mesogéen au nord du mexique: etude geologique de la vallee de Sahuaripa, sonora central* (Doctoral dissertation, Paris 6).
- Pyle, L. J., & Barnes, C. R., 2002, *Taxonomy, Evolution, and Biostratigraphy of Conodonts: from the Kechika Formation, Skoki Formation, and Road River Group (Upper Cambrian to Lower Silurian), Northeastern British Columbia*. NRC Research Press, p. 62-64.
- Rasmussen, J. A., & Smith, M. P., 2001, Conodont geothermometry and tectonic overburden in the northernmost East Greenland Caledonides. *Geological Magazine*, 138(6), p. 687-698.
- Repetski, J. E., 1982, Conodonts from El Paso Group (Lower Ordovician) of western Texas and southern New Mexico. *New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources Memoir*, 40, p. 1-119.

- Repetski, J. E., & Ethington, R. L., 1983, *Rossodus manitouensis* (Conodonta), a new early Ordovician index fossil. *Journal of Paleontology*, p. 289-301.
- Reyes-Montoya, D. R., 2017, Bioestratigrafía del Cámbrico-Ordovícico de Sonora Central: Implicaciones paleogeográficas y paleoecológicas. *Universidad de Sonora* (Tesis de maestría), p. 63-97.
- Sansom, I. J., & Smith, M. P., 2005, Late Ordovician vertebrates from the Bighorn Mountains of Wyoming, USA. *Palaeontology*, 48(1), p. 31-48.
- Sanz-López, J., & Blanco-Ferrera, S., 2012, Overgrowths of large authigenic apatite crystals on the surface of conodonts from Cantabrian limestones (Spain). *Facies*, 58(4), p. 707-726.
- Sarmiento, G. N., & López, S. G., 1993, Síntesis sobre las faunas de conodontos del Paleozoico Inferior de Ibero-América y de la Península Ibérica. *Revista española de paleontología*, 8(2), p. 191-206.
- Sergeeva, S. P., 1963, Conodonts from the Lower Ordovician of the Leningrad region. *Paleontologicheskij Zhurnal*, 1963(2), p. 93-108.
- Serpagli, E., 1974, Lower Ordovician conodonts from precordilleran Argentina (Province of San Juan). - *Ibidem*, 13, 1-2, p. 82.
- Smith, M. P., 1991, Early Ordovician conodonts of east and north Greenland. *Geoscience*, p. 52-54.
- Stewart, J., McMenamin, A. & Morales-Ramírez, J., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico - Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleocurrent Studies, and Regional relations. United States Geological Survey Professional Paper, 1309, p. 1-36.
- Stewart, J. H., 1988, Latest Proterozoic and Paleozoic southern margin of North America and the accretion of Mexico. *Geology*, 16(2), p. 186-189.
- Stewart, J. H., Blodgett, R. B., Boucot, A. J., Carter, J. L. y López, R., 1999, "Exotic Paleozoic strata of Gondwanan provenance near Ciudad Victoria, Tamaulipas, México". In *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*, Geological Society of America Special Paper 336 Edited by: Ramos, V. A. and Keppie, J. D., p 227–252. Boulder, CO.
- Stouge, S., & Bagnoli, G., 1988, Early Ordovician conodonts from Cow Head Peninsula, western Newfoundland. *Palaeontographia Italica*, 75, p. 89-179.
- Tolmacheva, T. Y., 2006, Apparatus of the conodont *Scolopodus striatus* Pander, 1856 and re-evaluation of Pander's species of *Scolopodus*. *Acta Palaeontologica Polonica*, 51(2), 249-259.

- Ulrich, E. O., & Bassler, R. S., 1926, A classification of the toothlike fossils, conodonts, with descriptions of American Devonian and Mississippian species. *Proceedings of the United States National Museum*, p. 5-60.
- Vachard, D., Clausen, S., Palafox-Reyes, J., Buitrón, B., Devaer, L., Hayart, V., & Régnier, S., 2017, Lower Ordovician microfacies and microfossils from Cerro San Pedro (San Pedro de la Cueva, Sonora, México), as a westernmost outcrop of the newly defined Nuia Province. *Facies*, 63(18), p. 1-16.
- Vega-Granillo, R., y Araux, E., 1987, Estratigrafía del Paleozoico en el área del rancho Las Norias, Sonora central: Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Boletín, 4(1-2), p. 41-50.
- Vitkus, A. R., 2010, Microfossil fauna from the Blue Earth Siltstone of the Lower Ordovician Prairie du Chien Group, Minnesota, USA, p. 1-8.
- Wang, Z.H. & Luo, K.Q., 1984, Late Cambrian and Ordovician conodonts from the marginal areas of the Ordos Platform, China. *Bulletin of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica* 8, p. 237-304.
- Wilson, C. M., 1988, *Lower and lower Middle Ordovician conodont biostratigraphy of the Pogonip Group in the southern Egan Range at Shingle Pass, Nevada, and descriptions of stratigraphically important species* (Doctoral dissertation, The Ohio State University), p. 78-80.
- Xu, Chen., 1995, "Regional stratigraphy and paleogeography". In *The base of the austrodentatus Zone as a level for Global subdivision of the Ordovician System*, PalaeoWorld 5 Edited by: Xu, Chen and Bergström, S.M., p. 7–13. Nanjing University Press.
- Zeballo, F. J., & Ortega, G. D. C., 2008, New late Tremadocian (Early Ordovician) conodont and graptolite records from the southern South American Gondwana margin (Eastern Cordillera, Argentina). *Geologica Acta*, 6(2), p. 131-145.
- Zhang, J., 1998, *Middle Ordovician conodonts from the Atlantic Faunal Region and the evolution of key conodont genera* (Doctoral dissertation, Stockholms universitet), p. 294-297.
- Zhen, Y. Y., Liu, J., & Percival, I. G., 2007, Revision of the conodont *Erraticodon hexianensis* from the upper Meitan formation (Middle Ordovician) of Guizhou, south China. *Paleontological Research*, 11(2), p. 145-162.
- Zhen, Y. Y., Wang, Z. H., Zhang, Y. D., Bergstroem, S. M., Percival, I. G., & Cheng, J., 2011, Middle to Late Ordovician (Darriwilian-Sandbian) conodonts from the Dawangou section, Kalpin area of the Tarim Basin, northwestern China. *Records of the Australian Museum*, 63(3), p. 203-266.
- Zhen, Y. Y., Zhang, Y., & Percival, I. G., 2009, Early Sandbian (Late Ordovician) conodonts from the Yenwashan Formation, western Zhejiang, South China. *Alcheringa*, 33(2), p. 133-161.

Zhen, Y., Yong Yi Zhen, Yuandong Zhang, I.G. Percival, 2009, Early Sandbian (Late Ordovician) conodonts from the Yenwashan Formation, western Zhejiang, South China *Alcheringa*, 33 (2) (2009), p. 131-161.

Zhou, Zhi-yi & Chen, Pei-ji, 1992, *Biostratigraphy and Geological Evolution of Tarim*, p. 1–399. Beijing.