



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

TESIS

“BIOESTRATIGRAFÍA DEL CÁMBRICO-
ORDOVÍCICO DE SONORA CENTRAL:
IMPLICACIONES PALEOGEOGRÁFICAS Y
PALEOECOLÓGICAS”

Que para obtener el grado de
Maestra en Ciencias-Geología

PRESENTA:

REYES MONTOYA DULCE RAQUEL



10 de agosto del 2017

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:

Para mis abuelos Guadalupe López, Manuel Montoya, y Miguel Reyes porque sé que siempre están conmigo, y a mi abuela Lupita Castillo que me ha enseñado a ser fuerte.

A mi mama Raquel porque me ha apoyado incondicionalmente durante toda mi vida.

A mi padre Miguel que es un ejemplo de trabajo.

Mis Hermanos Diana, Miguel, Scarlett, nunca se den por vencidos.

Mis tíos y primos gracias por su consejo y apoyo.

Para Jesús porque has estado en las buenas y en las malas.

A mis amigas por su paciencia y comprensión.

Los quiero mucho a todos y siempre pensé en ustedes.

Agradecimientos a Instituciones

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme con una beca durante el período 2015-2 a 2017-1 con el Número de Becario 585567 y CVU 708649, y una beca mixta durante el período del 09 de septiembre al 11 de octubre del 2016.

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 el financiamiento de esta Tesis.

Al proyecto ECOS-NORD México-Francia M13U01 “Evolución de los Ecosistemas y Diversidad del Paleozoico”

Gracias a la Universidad de Sonora, la División de Ciencias Exactas y Naturales y al Departamento de Geología por el apoyo económico para la estancia de investigación y para asistir a congresos.

Al Instituto de Geología, ERNO, UNAM por el uso de sus instalaciones y del Laboratorio de Micropaleontología.

A la Universidad de Lille 1 por el uso de sus equipos e instalaciones en la estancia de investigación.

Agradecimientos

A mi Director de tesis Dr. Juan José Palafox Reyes por su gran paciencia, apoyo, observaciones brindadas durante estos años y por la confianza.

A mi Co-directora Dra. Pilar Navas-Parejo García por darme ánimos e impulsarme hacer un mejor trabajo.

Al Dr. Francisco Cuen Romero, porque siempre conté con su apoyo y por enseñarme lo necesario para entender el Cámbrico de Sonora.

Al Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado, estoy agradecida por sus consejos y observaciones para este trabajo de tesis.

Al M.C. Ismael Minjárez Sosa por sus observaciones cruciales para realizar la geología de Arivechi y Sierra Agua Verde.

Al Dr. Rogelio Monreal Saavedra por sus enseñanzas en clase y porque resolvió mis dudas siempre que acudía a preguntar.

A M.C. Margarita de la O Villanueva por las facilidades otorgadas en el Laboratorio de Sedimentología UNISON.

Al M.C Alfredo Ochoa Granillo por su apoyo y observaciones respecto a la geología de la Sierra Agua Verde.

A Dra. Diana Meza Figueroa por préstamo de equipo de laboratorio necesario para el proceso de extracción de conodontos.

Al Dr. Sebastien Clausen y Dr. Daniel Vachard por su apoyo y enseñanzas durante la estancia de investigación.

Al Dr. Jesús Vidal Solano y a la Comisión Académica del posgrado por las recomendaciones durante el período académico.

A Sheila Corral del Departamento de Geología, UNISON y Geol. Aimé Orci del Instituto de Geología ERNO-UNAM por la elaboración de láminas delgadas.

A mis compañeros, amigos y estudiantes del Departamento de Geología por su apoyo en las salidas al campo en especial a Jesús Palafox, José Miguel Morales, Geol. Amílcar Casarrubias, Geol. Heriberto Borjas, Geol. Alejandro Palafox, Geol. Jesús González, Erik Méndez, Isaí Castellón, André Becuar, Alejandro Noriega, Adrián Sosa, Chava Bustillos, Paul Medina, Adilene Ochoa, Raúl Montaña, Juan Cuevas, Ricardo Ortiz y Estefanía.

RESUMEN

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior de México son escasas respecto a la extensión territorial del país. No obstante, el Cámbrico y el Ordovícico ha sido documentado en varias localidades del estado de Sonora. Para el Cámbrico destacan los afloramientos del área de Caborca, Cananea, Arivechi, Sierra Agua Verde y San José de Gracia. En el Ordovícico destacan las facies de plataforma en el Rancho las Norias, Rancho Pozo Nuevo, Sierra Agua Verde y las facies de cuenca en las localidades de Cerro Cobachi, Barita de Sonora, La Colorada y Sierra el Aliso.

Han transcurrido aproximadamente 28 años desde que se llevaron a cabo los últimos trabajos con fines estratigráficos y/o paleontológicos en el área de Arivechi. Del mismo modo, han pasado 15 años desde que no se trabaja en el Paleozoico inferior de la Sierra Agua Verde. Por esto, resulta de gran importancia actualizar la estratigrafía, así como proponer nuevas biozonas para Cámbrico- Ordovícico y ajustarse a los cambios realizados recientemente en la escala de tiempo geológico para estos períodos.

Se realizó una sección geológica en la Sierra Agua Verde y cinco secciones en el oeste de Arivechi. Estas capas exponen las formaciones Puerto Blanco y Proveedora del Cámbrico inferior-medio y las unidades Cámbrico medio-superior y Cámbrico superior, y la Formación El Boquinete en la Sierra Agua Verde, Mátape, Sonora. En Arivechi, se observaron las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y El Santísimo.

En la Sierra Agua Verde aflora la Formación Puerto Blanco de edad Cámbrico inferior-Piso 3, dentro de las biozonas *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria* y *Nevadella*, y la Formación Proveedora de edad Cámbrico inferior-Piso 4, en la Zona de *Bristolia mohavensis* y *B. insolensis*, ambas correlacionables con el área de Caborca. Respecto a la unidad Cámbrico medio-superior y a la unidad Cámbrico superior, no se encontró fauna fósil que permita ir más allá de los datos de base. Hacia la parte oeste de la sierra es donde afloran las rocas del Ordovícico Inferior –Tremadociano, Zona de *Iapetognathus*, *Rossodus manitouensis*, Lower Diversity-Interval, *Macerodus diana*.

En Arivechi, en la Formación La Sata, no se encontró fauna fósil para corroborar la edad Piso 5 (Cámbrico medio) propuesta por autores anteriores; en la Formación El Mogallón, la edad

es Drumiano, dentro de la Zona de *Ptychagnostus atavus*; la Formación la Huerta es de edad 6.

Paibiano, dentro de la Zona de *Aphelaspis*; la Formación El Santísimo es de edad Tremadociano dentro de la Zona de *Rossodus manitouensis* hasta la Zona de *Macerodus diana*.

En la Formación El Mogallón se reportan e ilustran por primera vez *Choia carteri*, y *Diagoniella cyathiformis*. Se asigna una edad precisa a la Formación La Huerta debido a la presencia del braquiópodo *Angulotreta triangularis*, que indica la Zona de *Aphelaspis*. En la Formación el Santísimo se ilustran y reportan por primera vez los conodontos *Scolopodus subrex*, *Drepanodus arcuatus*, *Drepanodus* sp., *Acodus* sp., *Paltodus deltifer* y *Rossodus manitouensis*, del Ordovícico inferior.

La situación paleogeográfica de Laurentia durante el Cámbrico era cercana al Ecuador, lo que proporcionó una abundante fauna de invertebrados también en la región de Sonora, como se pone de manifiesto en este trabajo.

La Fauna de conodontos encontrados en las áreas de estudio corresponden a la Provincia “Mid-Continent Realm” lo que indica que vivían en ambientes cálidos y más salinos.

ÍNDICE

1. Introducción-----	11
1.2. Objetivos -----	13
2. Materiales y métodos -----	13
3. Antecedentes del Cámbrico-Ordovícico de Sonora -----	18
4. Área de Sierra Agua Verde -----	24
4.1. Localización del área de estudio -----	24
4.2. Vías de comunicación -----	25
4.3. Geología Regional -----	25
4.4. Geología Local -----	31
4.5. Estratigrafía -----	33
4.5.1 Formación Puerto Blanco	33
4.5.2 Formación Proveedora.....	35
4.5.3 Unidad Cámbrico medio – superior	37
4.5.4 Unidad del Cámbrico superior.....	40
4.5.5 Formación El Boquinete.....	40
5. Área de Arivechi -----	45
5.1. Localización del área de estudio -----	45
5.2. Vías de comunicación -----	46
5.3. Geología Regional -----	46
5.4. Geología Local -----	50
5.5. Estratigrafía -----	52
5.5.1 Formación La Sata.....	52
5.5.2 Formación El Mogallón.....	55
5.5.3 Formación La Huerta.....	59
5.5.4 Formación Milpillas	62
5.5.4 Formación El Santísimo	63
6. Bioestratigrafía -----	66
6.1. Agua Verde -----	68
6.1.1 Formación Puerto Blanco	68
6.1.2 Formación Proveedora.....	68
6.1.3 Formación El Boquinete.....	69
6.2. Arivechi -----	71

6.2.1	Formación La Sata.....	71
6.2.2	Formación El Mogallón.....	72
6.2.3	Formación La Huerta.....	73
6.2.4	Formación El Santísimo	74
6.2.5	Formación Milpillás	75
7.	Paleogeografía -----	77
8.	Paleoecología -----	80
9.	Paleontología Sistemática-----	82
10.	Discusión -----	98
11.	Conclusiones -----	98
12.	Bibliografía -----	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación geográfica del área de estudio en la Sierra Agua Verde; A) Representación del área de estudio dentro del noroeste de la República Mexicana; B) Ubicación de la Sierra Agua Verde en el Municipio de Villa Pesqueira; C) Área de estudio en la parte oeste de la Sierra Agua Verde (tomado de la carta topográfica H12-D44 del INEGI, 2001).....	24
Figura 2.- Mapa Geológico Regional de la Sierra Agua Verde. Modificado de Stewart et al., 1999	30
Figura 3.- Mapa Geológico del Cámbrico-Ordovícico de la Sierra Agua Verde, modificado de Stewart et al. (1999). Sección realizada A-A'	32
Figura 4.- Afloramiento de la Formación Puerto Blanco, consiste en estratos delgados de caliza y lutita color rojizo con vetillas de óxidos de Fe y calcita.	34
Figura 5.- Arenisca de Cuarzo de grano medio con algunos cristales de biotita, perteneciente a la Formación Proveedora.....	36
Figura 6.- Grauvaca de cuarzo con vetillas de Hematita perteneciente a la Formación Proveedora.....	36
Figura 7.- Arenisca de Cuarzo de grano medio con algunos cristales de biotita, perteneciente a la Formación Proveedora.....	36
Figura 8 Caliza recrystalizada con cristales grandes de sericita y pequeños óxidos de Fe AV-30.	38
Figura 9.- Mudstone con pequeños cristales de cuarzo y un ostrácodo AV-55	38
Figura 10.- Caliza muy recrystalizada, azoica de la Unidad de Cámbrico medio-Superior AV-20	38
Figura 11.- Mudstone con finas vetillas de calcita y radiolarios?AV-42.	38
Figura 12.- Brecha intraformacional con clastos de caliza color gris que miden desde 0.2 cm hasta 4 cm	39

Figura 13.- Afloramiento de caliza color gris intercalada con laminaciones de lutita color beige, con estratificación delgada y paralela.	39
Figura 14.- Mudstone recristalizado con fragmentos de conodontos BOC-14.	42
Figura 15.- Mudstone con vetillas de calcita y cristales pirita BOC-08.	42
Figura 16.- Afloramiento de lutita color café en estratos medianos de la Unidad del Cámbrico Superior.	43
Figura 17.- Afloramiento de caliza con laminaciones de lutita y limolita color café, con abundantes fracturas algunas rellenas de calcita. Formación el Boquinete.	43
Figura 18.- Columna estratigráfica de las unidades del Cámbrico-Ordovícico de la Sierra Agua Verde realizada en este trabajo, con la ubicación de los fósiles encontrados.	44
Figura 19.- Localización del área estudiada en Arivechi. A) Ubicación del área de estudio en el noroeste de la República Mexicana; B) Ubicación del área de estudio en el municipio de Arivechi; C) Área de estudio (tomado de la carta topográfica H12D56 de INEGI). En color rojo se señala el pueblo de Arivechi.	45
Figura 20.- Mapa geológico del Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, modificado de Almazán-Vázquez (1989).	51
Figura 21.- Afloramiento de arenisca con estratificación cruzada de la Formación la Sata.	53
Figura 22.- Afloramiento de Caliza gris con oncolitos y oolitos de la Formación La Sata.	53
Figura 23.- Columna estratigráfica de la Formación la Sata que aflora en el arroyo Milpillas. La columna tiene un espesor de 279 metros y fue dividida en 6 unidades de acuerdo a su litología; se indica también la ubicación de las muestras tomadas en la sección y la presencia de fósiles.	54
Figura 24.- Lutita calcárea con abundantes espículas de esponja y fragmentos de <i>Ogygopsis typicalis</i> , de la unidad 2 de la Formación el Mogallón.	57
Figura 25.- Afloramiento de la Formación el Mogallón, vista hacia el Este.	57
Figura 26.- Nivel de fósiles no identificados ubicados en las coordenadas 3198411m N;669587m E en la unidad 4 de la Formación El Mogallón.	57
Figura 27.- Columna estratigráfica de la Formación El Mogallón. La columna fue dividida en 4 unidades de acuerdo a su litología; se indica también la ubicación de las muestras tomadas en la sección y la presencia de fósiles.	58
Figura 28.- Packstone recristalizado, se observan, pellets, fragmentos de trilobites, braquiópodos, moluscos y equinodermos; vista 4x luz polarizada.	60
Figura 29.- Packstone con moluscos, trilobites, braquiópodos, pellets, algunos granos de cuarzo y vetillas de calcita; vista en 4x en luz polarizada.	60
Figura 30.- Vista de campo de la muestra AR-04: calizas grises con laminaciones arcillosas color rojo, en estratos delgados a laminares, presenta vetillas de calcita y fracturas, con oolitos y braquiópodos.	60
Figura 31.- Fragmento de trilobite. Vista en 4x luz polarizada.	60
Figura 32.- Packstone con recristalización, con pellets, calciesferas y trilobites. Vista 4x en luz polarizada.	60
Figura 33.- Columna estratigráfica de la Formación La Huerta con la ubicación de las muestras tomadas en la sección y la presencia de fósiles.	61
Figura 34.- Afloramiento de limolita calcárea rosa y laminaciones de lutita roja, con estratificación ondulada en estratos delgados. Formación El Santísimo.	64

Figura 35.- Caliza recristalizada con abundantes cristales de dolomita, se observan algunos equinodermos. SN-C1. Vista 4x con Luz Polarizada.	64
Figura 36.- Caliza recristalizada con equinodermos, ostrácodos y conodontos. SN-C4 Vista 4x con Luz Polarizada.	64
Figura 37.- Columna estratigráfica de la Formación el Santísimo con la ubicación de las muestras tomadas y los fósiles encontrados	65
Figura 38.- Biozonas del Cámbrico y Ordovícico Inferior. Modificada de Cuen (2013) y Webster (2014) para el Cámbrico. Y Ross et al. (1997).....	76
Figura 39.- Mapa Paleogeográfico del Cámbrico medio a tardío. Modificado de Deep Time Maps.	78
Figura 40.- Mapa Paleogeográfico del Ordovícico Inferior-Medio. Modificado de Deep Time Maps y de Vachard et al. (2017)	79
Figura 41.- Distribución mundial de los géneros de poríferos encontradas en el Cámbrico de Arivechi. Elaborado con información de la página The Paleobiology Database https://paleobiodb.org/#/	83
Figura 42.- Distribución mundial de los géneros de braquiópodos encontrados en Arivechi, Sonora. Elaborado con información de la página The Paleobiology Database https://paleobiodb.org/#/	87
Figura 43.- Distribución actual de los géneros de trilobites encontrados en el presente trabajo. Elaborado con información de la página The Paleobiology Database https://paleobiodb.org/#/	89
Figura 44.- Distribución mundial de los géneros de conodontos del Ordovícico Inferior. Elaborados con datos de la página The Paleobiology Database https://paleobiodb.org/#/ ..	91

Lámina 1.- Figura 1. <i>Valospongia sonorensis</i> . Figuras 2 y 3. ? <i>Choia carteri</i> Figuras 4 <i>Diagoniella</i> sp. y 5. ? <i>Diagoniella cyathiformis</i> . Formación El Mogallón.	92
Lámina 2.- Figura 1. <i>Ptychagnostus atavus</i> . Figuras 2 y 4. <i>Ogygopsis typicalis</i> . Figura 3. <i>Modocia typicalis</i> . Figura 5. <i>Amecephalus arrojosenis</i> . Figura 6. Trilobite no identificado. Formación El Mogallón.....	93
Lámina 3.- Figura 1. ? <i>Ogygopsis</i> sp. Figura 2. Trilobite no identificado. Figura 3. <i>Acrothele</i> sp. Figura 4. <i>Acrothele concava</i> . Figura 5. <i>Valospongia arivechensis</i> . Fig. 6 <i>Hyalithes</i> sp. Formación El Mogallón.....	94
Lámina 4.- Figuras 1, 2 y 3. <i>Lingulella</i> sp. Figuras 4, 5, 6 y 7. <i>Angulotreta triangularis</i> . Formación La Huerta.....	95
Lámina 5.- Figuras 1, 2 y 5. <i>Linnarssonina</i> sp. Figuras 3, 4, 6 y 7. <i>Quadrisonia</i> sp. Formación La Huerta.	96
Lámina 6.-Fig. 1 y 2. <i>Rossodus manitouensis</i> . Fig. 3 <i>Scolopodus subrex</i> . Fig. 4 <i>Drepanodus</i> sp. Fig. 5 <i>Paltodus deltifer</i> . Fig. 6 <i>Scolopodus subrex</i> Fig. 7 <i>Drepanodus arcuatus</i> Fig. 8 <i>Acodus</i> sp. Fig. 9 <i>Drepanodus</i> sp. Formación El Santísimo y Formación El Boquinete.	97

1. INTRODUCCIÓN

Las rocas sedimentarias del Paleozoico inferior de México son escasas respecto a la extensión territorial del país, debido a que estas fueron cubiertas por una potente secuencia de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico (Buitrón, 1992). No obstante, se tiene conocimiento de afloramientos del Cámbrico-Ordovícico en los estados de Sonora, Sinaloa, Baja California, Chihuahua y Oaxaca, los cuales han sido objeto de numerosos estudios estratigráficos, sedimentológicos y paleontológicos (Sánchez-Zavala *et al.*, 1999).

El Cámbrico ha sido documentado en varias localidades del estado de Sonora, destacando los afloramientos del área de Caborca, Cananea, Arivechi, Rancho Sobechi, Sierra Agua Verde y San José de Gracia (Cooper y Arellano, 1946; Cooper *et al.*, 1952; 1956; González-León, 1986; Almazán-Vázquez, 1989; Vega, 1996; Stewart *et al.*, 1999; Cuen *et al.*, 2016).

Los grupos fósiles documentados para el Cámbrico de Sonora son diversos y abundantes, destacando la presencia de poríferos, arqueociatos, braquiópodos, moluscos, trilobites y en menor proporción equinodermos. El registro fósil para los conodontos es escaso, existiendo un registro para la Formación Milpillas del área de Arivechi (Almazán-Vázquez, 1989).

El Ordovícico, ha sido estudiado en diversas regiones del estado de Sonora, distinguiéndose facies de plataforma en Rancho Las Norias, Sierra Martínez, Arivechi, Sierra Agua Verde, Rancho Bisaní, Rancho Placeritos, Rancho Pozo Nuevo, (Vega y Araux, 1987; Montijo y Terán, 1988; Almazán-Vázquez, 1989; Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993; Poole *et al.*, 1995; Poole *et al.*, 2000; Almazán, 2006); así como facies de cuenca en las localidades Cerro Cobachi, Sierra El Aliso, Barita de Sonora, La Colorada, Isla Turner (Noll, 1981; Bartolini, 1988; Poole *et al.*, 1988; Bartolini *et al.*, 1995; Poole *et al.*, 1995b).

La secuencia más completa del Ordovícico en el estado de Sonora se encuentra en la Sierra López, al noroeste de Hermosillo, donde aflora la Formación Pozo Nuevo (Almazán-Vázquez *et al.*, 2006). Esta secuencia consiste en caliza con intraclastos, limolita, lutita y pedernal, conteniendo braquiópodos, gasterópodos (*Palliseria*), cefalópodos (*Endoceras*), trilobites, phylocáridos y conodontos representativos de la Zona de *Histiodela holodentata*

del Ordovícico Medio (Stewart *et al.*, 1988). La Formación Pozo Nuevo también aflora en el Rancho Placeritos (Poole *et al.*, 2000) y en el Rancho Las Norias (Franco-Vega, 2000; Almazán-Vázquez *et al.*, 2006; Formación Las Norias según Vega-Granillo y Araux-Sánchez, 1987 y Page *et al.*, 2003).

Cuatro aspectos fundamentales son la motivación del presente trabajo de tesis:

a) La nueva propuesta en la distribución y calibrado del tiempo geológico para el Cámbrico-Ordovícico (Peng *et al.*, 2012; Cooper *et al.*, 2012; Cohen *et al.*, 2013) hace que se requiera un reajuste y actualización de la información bioestratigráfica existente, así como de la búsqueda de nuevos taxones que permitan establecer edades con mayor certidumbre. Con base en lo anterior, han transcurrido aproximadamente 28 años desde que se llevaron a cabo los últimos trabajos con fines estratigráficos y/o paleontológicos en el área de Arivechi (Minjárez *et al.*, 1985; Almazán-Vázquez, 1989), por lo que resulta de gran importancia actualizar la estratigrafía, así como proponer nuevas biozonas para Cámbrico-Ordovícico y ajustarse a los cambios en la escala de tiempo geológico para estos períodos.

b) Desde las publicaciones de Stewart *et al.* (1999; 2002) no se ha trabajado en las secuencias del Cámbrico-Ordovícico de la Sierra Agua Verde, en contraste a los numerosos trabajos que existen para el Paleozoico superior en esta área.

c) El conocimiento de nuevos taxones útiles en bioestratigrafía del Paleozoico (braquiópodos, trilobites y conodontos) permite asignar edades más precisas a los afloramientos estudiados en esta tesis, así como establecer paleoambientes y relaciones paleogeográficas. La presencia de fósiles de poríferos, braquiópodos, trilobites y conodontos, algunos reportados por primera vez para el estado de Sonora y para México, contribuye de manera preponderante al conocimiento del Cámbrico-Ordovícico en el país.

d) Las relaciones estratigráficas de los depósitos del Cámbrico-Ordovícico de las áreas de Arivechi y Sierra Agua Verde no son del todo claras, sin embargo, existen secciones compuestas que permiten el mayor entendimiento de éstas.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es contribuir al conocimiento de la bioestratigrafía del Cámbrico y el Ordovícico del centro de Sonora, estudiando secciones localizadas en la Sierra Agua Verde y la región de Arivechi.

Los objetivos específicos son:

- Describir la fauna de braquiópodos, trilobites y conodontos del Cámbrico y del Ordovícico de la región de Arivechi y la Sierra Agua Verde, así como analizar su bioestratigrafía.
- Realizar un reajuste bioestratigráfico y proponer la presencia de nuevas biozonas en los afloramientos de esta edad de la región de Arivechi y Sierra Agua Verde.
- Analizar la Paleogeografía y Paleoecología del Cámbrico y del Ordovícico del área de Arivechi y de la Sierra Agua Verde.
- Actualizar la Estratigrafía del Área de Arivechi.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Búsqueda bibliográfica.
2. Realización de secciones geológicas y columnas estratigráficas en Sierra Agua Verde y Arivechi.
3. Recolección de muestras de roca y fósiles.
4. Procesamiento de muestras de caliza en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y en el Laboratorio de Química y Micropaleontología de la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estudio de la fauna fósil con ayuda de estereomicroscopio, microscopio petrográfico y estereoscopio.
5. Análisis e integración de los datos.

2.1. TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron visitas a la Sierra Agua Verde y a la región oeste de Arivechi. En total se hicieron seis secciones geológicas medidas y levantamiento de columnas estratigráficas.

En cada localidad se recolectaron macrofósiles y muestras de roca para elaboración de láminas delgadas y para su disolución con el fin de obtener microfósiles.

También se describió la litología, espesor de los estratos, se midió rumbo y echado, estructuras sedimentarias, otro contenido fósil y coordenadas de cada estación donde una muestra fue tomada.

Sierra Agua Verde

Se realizaron dos campañas de campo: una en diciembre de 2015 y otra en julio de 2016, con una duración de 3 días cada una. Se realizó una sección geológica sobre el Cámbrico y Ordovícico siguiendo el mapa geológico de Stewart *et al.* (1999) (Fig.2, Fig.3). Se recolectó un total de 73 muestras de roca con siglas AV-01 a AV-56 para la parte del Cámbrico y BOC-01 a BOC-17 para las muestras del Ordovícico (Fig. 18)

Arivechi

En marzo, abril y julio del 2016 se visitó el área de Arivechi y se realizaron 5 secciones. La primera sección(A-A') se realizó en el Cerro La Sata (Fig. 20), donde se tomaron 13 muestras de roca con las siglas SM-01 a SM-13(Fig. 23); la segunda sección (B-B') se hizo en el Cerro El Mogallón (Fig.20) y se recolectaron 64 muestras de roca con las siglas SA-01 a SA-64(Fig.27), y fósiles de trilobites, braquiópodos, poríferos, entre otros; la tercer sección(C-C') fue en el Arroyo La Huerta(Fig.20), donde se obtuvieron 8 muestras con las siglas LH-01 a LH-08; las rocas contenían braquiópodos y fragmentos de trilobites no identificados; la cuarta sección (E-E') se efectuó en el Cerro El Santísimo, con un resultado de 13 muestras con las siglas ST-01 a ST-09 y SN-01 a SN-04(Fig.37); finalmente, la quinta sección (D-D') se realizó en una colina ubicada 700 metros al SW de la entrada del cañón del Arroyo La Huerta(Fig.20), donde se colectaron 11 muestras de roca con las siglas AR-01 a AR-09, SAT y SAT-LAM(Fig.33), con abundantes braquiópodos.

2.2. TRABAJO DE LABORATORIO

Una vez realizado el trabajo de campo, se prosiguió con la disolución de las muestras de calizas para la extracción de elementos conodontales y braquiópodos.

Los elementos conodontales y algunas conchas de braquiópodos son de fosfato cálcico y resisten el ataque del ácido fórmico, mientras que la caliza, al ser un carbonato de calcio, se disuelve. El procedimiento es el siguiente:

1. Se fragmenta la roca caliza en trozos de aproximadamente 3 cm de diámetro, esto es para agilizar el proceso de disolución.
2. Se pesan 0.675 kg de la muestra e introducen en un recipiente donde se prepara una disolución de 0.7 litros de ácido fórmico (CH_2O_2) y 7.2 litros de agua.
3. Se deja pasar un período de 24 horas dentro de una campana de extracción.
4. Una vez que el periodo de disolución se cumple, se lava el sedimento fino restante de la disolución en una pila de tres tamices, con una luz de malla normalmente de 1 mm, 0.6 mm y 125 μm , bajo el flujo constante y moderado de agua.
5. El ácido restante de la disolución se almacena en un cubo y es neutralizado con bicarbonato de sodio ($Ca(HCO_3)_2$).
6. Se pesa el residuo de muestra que no se disolvió y se reserva para próximas disoluciones.
7. El sedimento que quedó atrapado en los tamices de 0.6 mm a 125 μm se deja secar al aire en una cápsula de porcelana.
8. Finalmente, cuando el sedimento está seco se guarda en un contenedor y se le coloca una etiqueta con la sigla del número de muestra para posteriormente buscar conodontos con la ayuda de un estereoscopio.

Se disolvieron mediante este método 35 muestras, de 3 kg cada una, de la sección realizada en la Sierra Agua Verde y solo 2 muestras proporcionaron conodontos: BOC-14 Y BOC-15.

De las muestras tomadas en el Cerro La Sata se disolvieron 5 muestras de 3 kg cada una, SM-01, SM-03, SM-05 y SM-07 y SM-13; en ninguna de ellas se encontró ningún espécimen fósil.

De la sección del Cerro El Mogallón se procesaron 23 muestras de 2 kg cada una: SA-15, SA-16, SA-17, SA-18, SA-19, SA 20, SA-21, SA-22, SA-23, SA-24, SA-25, SA-26, SA-27, SA-28, SA-29, SA-30, SA-31, SA-34, SA-36, SA-38, SA-44, SA-46, SA-60, con resultados negativos en conodontos; sin embargo, estas muestras contienen espículas de poríferos, trilobites y braquiópodos.

En la sección del Arroyo La Huerta se disolvieron 5 muestras de 3 kg cada una, LH-01, LH-03, LH-04, LH-06, LH-08 con resultados negativos en conodontos. Sin embargo, se encontraron braquiópodos lingúlidos. También se disolvieron 10 muestras de 2 kg cada una: AR-01, AR-02, AR-03, AR-05-AR-06, AR-07, AR-08, AR-09, SAT, SAT-LAM, y se obtuvo una gran cantidad de braquiópodos.

2.3. TRABAJO DE MICROSCOPIA

Para la búsqueda de los elementos conodontales y braquiópodos se utilizó un estereomicroscopio marca LEICA modelo EZ4 HD. Posteriormente se identificaron taxonómicamente, se seleccionaron los mejores ejemplares y se prepararon para fotografiarlos en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). En este caso se utilizó el MEB de la Universidad de Lille 1, Francia. Para ello, se coloca una cinta adhesiva de carbono, adherida a una porta muestra de cobre, donde se colocan los ejemplares.

Los poríferos, algunos braquiópodos y los trilobites se fotografiaron con un estereomicroscopio marca LEICA modelo EZ4 HD con una cámara fotográfica marca CANON modelo PowerShot SX500 IS.

Se analizaron las microfacies de las láminas delgadas de las muestras bajo la lente de un microscopio petrográfico marca AmScope y se fotografiaron con la cámara integrada de este microscopio.

2.4. TRABAJO DE GABINETE

Esta etapa consistió en la recopilación y lectura de bibliografía de trabajos previos del área de estudio, estudios regionales sobre el Cámbrico y el Ordovícico, y artículos científicos sobre trilobites, braquiópodos y conodontos.

La fauna fósil fue identificada por la autora del presente trabajo con la ayuda de las diagnósis propuestas para los diferentes taxones. El Dr. Francisco Cuen Romero se encargó de identificar los trilobites del Cámbrico.

Se utilizaron los programas ESRI ArcGIS, Adobe Illustrator, y Autodesk AutoCAD para la realización de figuras, mapas y columnas estratigráficas.

Se utilizó el sitio web Fossilworks.org para obtener las características paleoecológicas de los fósiles encontrados en el trabajo de tesis. La base de datos del Instituto Smithsonian de Evolución de Ecosistemas Terrestres y el Proyecto de Atlas Paleogeográfico de la Universidad de Chicago proveen de información a este sitio Web.

Se realizó una búsqueda en la página de internet The Paleobiology Database (<https://paleobiodb.org/#/>), se descargaron las coordenadas, la localidad, zona bioestratigráfica, litología y bibliografía de cada uno de los géneros, después se realizaron mapas con la ubicación de los géneros de poríferos, braquiópodos y trilobites entre otros organismos encontrados.

Para realizar la paleogeografía se utilizaron los mapas paleogeográficos del Cámbrico medio y del Ordovícico medio que están en la página Deep Time Maps™ a cargo del Dr. Ronald Blakey, profesor emérito de la Northern Arizona University; para el mapa del Ordovícico inferior-medio se utilizó también el mapa de Vachard *et al.* (2017), y se consultaron artículos científicos con información paleogeográfica, en particular, del suroeste de Laurentia.

3. ANTECEDENTES DEL CÁMBRICO-ORDOVÍCICO DE SONORA

El Paleozoico inferior se describió por primera vez en Sonora en El Rancho La Casita (Dumble, 1900) y en la Sierra Cobachi (King, 1939), estando representado por una secuencia de rocas calcáreas y dolomías asignadas al Ordovícico. Los primeros estudios relacionados con el Cámbrico fueron elaborados en 1941 por los geólogos Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal en el área de Caborca (Cooper *et al.*, 1946), despertando el interés de diversos investigadores como lo demuestran estudios posteriores.

Cooper y Arellano (1946) realizan el estudio de la estratigrafía de las rocas cámbricas del área de Caborca, pero sin referirse aún a ninguna unidad litológica formal.

Lochman (1948) describe géneros y especies nuevas de trilobites para el Cámbrico en el área de Caborca. Dos de estas (*Mexicella mexicana* y *Amecephalus arrojensis*) actualmente representan zonas faunísticas para el Cámbrico medio en Norteamérica.

Cooper *et al.*, (1952; 1956) designan en la región de Caborca las formaciones cámbricas Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren, y realizan una descripción de la fauna fósil.

La región de la Sierra Agua Verde fue explorada en los años setenta por Peiffer-Rangin; sin embargo, la primera publicación la realiza Stewart *et al.*, (1984), donde describen secuencias del Cámbrico y Ordovícico. A partir de esta publicación, diversos autores han estudiado esta área y como conclusión se obtuvo que en la Sierra Agua Verde está expuesta una serie de alrededor de 3.7 km de espesor, que comprende el Neoproterozoico?, Cámbrico, Ordovícico, Devónico superior, Misísipico y Pensilvánico inferior-medio (Stewart *et al.*, 1988, 1990, 1999; Poole *et al.* 1984, 1995; Repetski *et al.* 1985). Los afloramientos del Pérmico fueron descritos por Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993) y Minjárez-Sosa *et al.* (1993).

Peiffer-Rangin (1988) y Peiffer-Rangin *et al.* (1980), realizan un estudio sobre el Ordovícico Superior de la región de La Casita-Los Chinos y reportan una secuencia de argilita, pedernal con radiolarios, y caliza arrecifal con corales como *Streptelasma* sp., *Palaeophyllum* sp. y *Calapoecia* sp. En el Cerro Cobachi, la secuencia se

compone del argilita con los graptolites *Dicranograptus* sp., *Orthograptus* sp. y *Climacograptus* sp. (Ordovícico Tardío) así como pedernal, cubierta por arenisca de cuarzo.

Noll (1981) nombró el Grupo Guayacán, en el Cerro Cobachi, que se compone de arenisca masiva que gradúa a lutita calcárea y lutita carbonosa con graptolites, arenisca calcárea, caliza y bandas de pedernal, que tiene una edad del Ordovícico al Devónico.

Montes y Campillo (1983) refieren una secuencia del Grupo Guayacán en la Barita de Cobachi (Barita de Sonora), que se compone de lutita con graptolites como *Cryptograptus tricornis*, *Corynoides* sp., *Orthograptus calcaratus acutus* y *Pseudoclimacograptus sharenbergi* del Ordovícico Medio.

Ornelas y Arriola (1984) reportan por primera vez una secuencia sedimentaria de calizas en el este de Arivechi, que por años fue erróneamente considerada como del Cretácico Inferior. Esta secuencia consiste de calizas grises, calizas masivas con bandeamientos que presentan trilobites y braquiópodos del Cámbrico medio.

Stewart *et al.* (1984) realizaron un estudio estratigráfico de las rocas sedimentarias del Proterozoico superior y del Cámbrico en el área de Caborca, identificando catorce formaciones y reevaluando la fauna fósil identificada por autores anteriores.

Minjárez *et al.* (1985) asignó la edad Cámbrico medio a la secuencia de Arivechi con base a los trilobites *Ptychagnostus* sp. y *Bailiella* sp. La secuencia está formada de calizas rosas en estratos delgados y lutitas verdes y rosas con rizaduras de corriente y grietas de desecación.

González-León (1986) reportó en la Sierra del Tule, ubicada al norte de Cananea, rocas sedimentarias del Cámbrico medio y superior, con un espesor de 235 m, correlacionables con la Formación Cuarcita Bolsa y Formación Abrigo del sureste de Arizona.

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

Ávila-Angulo (1987) describió una unidad llamada informalmente “unidad caliza Pozo Nuevo” del Ordovícico, compuesta por dolomía con capas de pedernal, cuarcita, arenisca calcárea, caliza con pedernal con briozoarios, braquiópodos, cefalópodos, trilobites y crinoideos en el Rancho Pozo Nuevo ubicado al norte de la Sierra López. Esta área fue estudiada posteriormente por otros autores (Franco-Vega *et al.*, 2000; Page *et al.*, 2003; Almazán-Vázquez, 2006).

Peiffer-Rangin (1988) realizó en el Cerro Sonora, Sierra San Juan de Dios, una sección compuesta de caliza, limolita y brecha calcárea. Estos estratos contienen el alga *Nuia* del Ordovícico temprano.

Vega-Granillo y Araux-Sánchez (1987) nombraron la Formación Las Norias, en el Rancho Las Norias, una secuencia del Ordovícico compuesta de caliza, lutita, dolomía y arenisca, comparable a la Formación Pozo Nuevo. Estas rocas contienen fósiles de briozoarios, braquiópodos, gasterópodos, trilobites, crinoideos y conodontos, entre otros.

Montijo-González y Terán-Ortega (1988) reportaron en la Sierra Martínez una secuencia de dolomía recristalizada, caliza arenosa, dolomía, conglomerado y limolita, con un espesor aproximado de 100 m y de edad Tremadociano-Darriwiliano.

Bartolini (1988) identificó en la Sierra el Aliso un paquete del Ordovícico inferior, medio y superior compuesto por lutitas negras con graptolites, pedernal con radiolarios, cuarcita, argilita y calizas.

Stewart *et al.* (1988) describen en el oeste de la Sierra López una secuencia compuesta por caliza, lutita y dolomía con *Caryocaris* y el trilobite *Hypermeaspis*, una unidad de caliza con pedernal con conodontos del Ordovícico Medio y finalmente caliza y dolomía con conodontos de la parte superior del Ordovícico.

Rivera-Carranco (1988) realizó estudios en el área de Caborca concluyendo que los ambientes de depósito de las rocas cámbricas representan aguas someras y de carácter lagunar, así como zonas de intermarea y submarea.

Almazán-Vázquez (1989) trabajó en el oeste de Arivechi, lugar donde nombró cinco formaciones para referirse a rocas del Cámbrico medio-superior y Ordovícico Inferior, las cuales son La Sata, El Mogallón, La Huerta, Milpillas y El Santísimo, estableciendo sus edades mediante trilobites.

Cirett y Aguilar (1989) identificaron por primera vez las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto en el área de San José de Gracia, Sonora central. Maytorena-Silva *et al.* (1990) publica el primer estudio en San José de Gracia donde reportan la presencia de rocas cámbricas.

Bartolini *et al.* (1990) describen argilitas del Ordovícico Medio (Arenigiano-Llanvirniano) a lo largo de la carretera Rebeiquito-El Novillo.

Ochoa-Granillo y Sosa-León, (1993) trabajaron en la Sierra Agua Verde y denominaron el grupo San José para incluir a las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Arrojos, las cuales correlacionaron con la secuencia del Cámbrico de Caborca. También denominaron el grupo Agua Verde, de edad Ordovícico a Pérmico.

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

Poole *et al.* (1995a) concluyeron que las rocas de plataforma del Ordovícico en Sonora se pueden correlacionar con las del oeste de Estados Unidos; las rocas carbonatadas 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 ubicada en el Oeste de Texas.

Poole *et al.* (1995a) reporta una secuencia de dolomía gris oscuro con pedernal y arenisca de cuarzo con conodontos de edad Whiterockiano a Cincinnatiano (Ordovícico Medio-Tardío), en el Rancho Bisaní y reporta en el Cañón de Santa Rosa, ubicado 20 km al noroeste de Bavispe, calizas con conodontos del Ordovícico Inferior pertenecientes a depósitos de plataforma cratónica.

Vega-Granillo (1996) describe una secuencia del Cámbrico medio en las inmediaciones del Rancho Sobechi, Sierra de Mazatán, las rocas carbonatadas contienen los trilobites *Peronopis depressa*, *Tomagnostus* y *Tonkinella valida* de la Zona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus* (Cuen-Romero, 2013).

Stewart *et al.* (1999) identifican una unidad del Cámbrico inferior, la Formación Proveedora, unidad del Cámbrico medio y superior, unidad del Cámbrico superior y dos unidades carbonatadas del Ordovícico Inferior en la Sierra Agua Verde.

Poole *et al.* (2000) identifican en el Rancho Placeritos ubicado al sur de la Sierra López, un paquete de rocas del Ordovícico Medio-Superior, correlacionables con la parte superior de la caliza Pozo Nuevo, la cuarcita Peña Blanca, y una unidad de caliza cíclica, caliza arcillosa y dolomía con corales rugosos y tabulados del Ordovícico Superior.

Franco-Vega (2000) nombra informalmente a la formación Pozo Nuevo compuesta de 12 facies, A-L, en el Rancho Pozo Nuevo y correlaciona las facies F a la L con la secuencia del Ordovícico que aflora en el Rancho Las Norias; también indica presencia de rocas cámbricas en el área.

Almazán-Vázquez (2002) realiza los primeros estudios paleontológicos de las rocas cámbricas de San José de Gracia y menciona la presencia de una abundante fauna del Cámbrico temprano y medio. Desde entonces, diversos autores han estudiado la fauna de San José de Gracia tales como Stewart *et al.* (2002), Buitrón (2004), Cuen *et al.* (2009), Nardin *et al.* (2009), Buitrón *et al.* (2011), Huerta-Ruiz (2011) Cuen (2012), Cuen *et al.* (2012, 2013, 2016), entre otros.

Page *et al.* (2003) designaron la cuarcita La Pirinola del Cámbrico superior en el sureste del Rancho Las Norias. También realizaron secciones en las cercanías del Rancho El Albañil donde concluyeron que la secuencia de la Formación Las Norias contiene braquiópodos, gasterópodos y conodontos del Ordovícico Temprano-Medio.

Almazán *et al.* (2006) nombra formalmente la Formación Pozo Nuevo, la cual aflora en el Rancho Las Norias y Rancho Pozo Nuevo, conformada por catorce miembros, y que en conjunto forman un espesor de 2,490 metros de caliza con pedernal, que alterna con capas

arcillo-calcáreas y de arenisca cuarzosa con trilobites, gasterópodos y braquiópodos del Ordovícico Temprano.

Sour-Tovar *et al.* (2007) reportan en los cerros la Ciénega, Pitiquito y Sonora, el fósil índice *Cloudina* del Neoproterozoico, en la Formación La Ciénega la cual subyace a la Formación Puerto Blanco, donde hay presencia de *Trichophycus pedum*. Estos fósiles limitan la ubicación del límite del Ediacarano-Cámbrico.

Page *et al.* (2010) identifican la Cuarcita Bolsa del Cámbrico medio en la Sierra los Ajos en contacto con la Caliza Abrigo, en la cual encontraron trilobites de la Zona de *Crepicephalus* y fauna de la Zona de *Aphelaspis* del Cámbrico superior.

Beresi *et al.* (2012) concluye debido a un trabajo de microfacies, que las rocas de la Formación Pozo Nuevo en Cerro Salazar cerca del Rancho Las Norias, se depositaron en un ambiente lagunar, depósitos intermareales y submareales y ambientes de playa de alta energía y dolomías de ambiente vadoso.

Page *et al.* (2012) realizan un resumen y discusión de la estratigrafía y paleontología de las rocas Cámbrico-Ordovícico de Sonora. Concluyen que las secuencias cratónicas del Ordovícico están ausentes en Sonora y las rocas del Devónico Medio-Superior de la Formación Martín sobreyacen discordantemente sobre la Formación Abrigo del Cámbrico superior similar al sureste de Nevada donde la Caliza Sultan del Devónico sobreyace discordantemente sobre la Formación Nopah del Cámbrico superior.

Cuen *et al.* (2013, 2016) identificaron en San José de Gracia, las formaciones Proveedora, Buena, Cerro Prieto y añaden a la nomenclatura la Formación El Gavilán, la cual consiste en caliza intercalada con lutita roja con abundante fauna de la Zona de *Mexicella mexicana* (Serie 3, Piso 5).

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

Beresi *et al.*, (2017) reporta nuevas especies de esponjas en el Cámbrico de Arivechi.

4. ÁREA DE SIERRA AGUA VERDE

4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Sierra Agua Verde se encuentra en el centro de Sonora, a 120 km al este de Hermosillo, Sonora, en el municipio de Villa Pesqueira (Mátape); dentro de las coordenadas, 109°55'00''W a 109°53'00''W y 29°14'00''N a 29°10'30''N (Fig. 1). El área de estudio se localiza en la carta topográfica H12–D44 “San José de Batuc”, escala 1:50 000, del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2001).

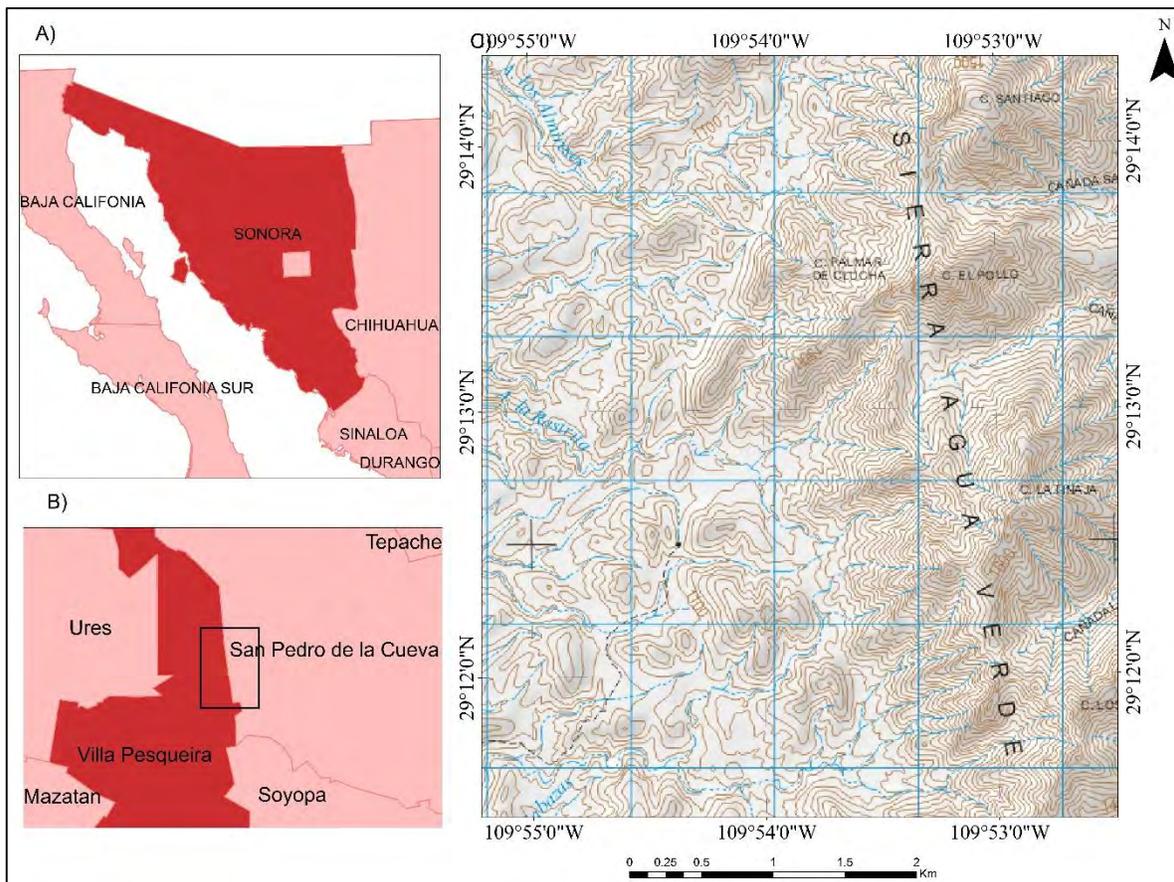


Figura 1.- Ubicación geográfica del área de estudio en la Sierra Agua Verde; A) Representación del área de estudio dentro del noroeste de la República Mexicana; B) Ubicación de la Sierra Agua Verde en el Municipio de Villa Pesqueira; C) Área de estudio en la parte oeste de la Sierra Agua Verde (tomado de la carta topográfica H12–D44 del INEGI, 2001).

4.2. VÍAS DE COMUNICACIÓN

El acceso a la Sierra Agua Verde es a través de la carretera estatal 104 (Hermosillo-Mazatán); en Mazatán se torna hacia la carretera estatal 171 (Mazatán-San Pedro de la Cueva) en dirección norte hasta llegar a Villa Pesqueira (Mátape); a 10 km del poblado de Mátape se toma un camino de terracería ubicado al lado este de la carretera; este camino conduce a una mina de sílice, actualmente abandonada.

4.3. GEOLOGÍA REGIONAL

El Paleozoico está representado por los grupos San José (Cámbrico) y Agua Verde (Ordovícico-Pérmico) (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993); el Mesozoico por las formaciones La Mina, Tarahumara y Granito Mátape; el Cenozoico por el Granito del Puerto, Unidad Wilson, rocas volcánicas del terciario y la Formación Báucarit. Finalmente, aluvión y conglomerados rellenando ríos y valles.

PALEOZOICO

El grupo San José se compone de las formaciones Puerto Blanco, Provedora, Buelna y Arrojos del Cámbrico inferior y medio.

El grupo Agua Verde incluye una secuencia compuesta por las formaciones El Boquinete, El Pollo, Santiago, La Joya y Tuntunudé, las cuales comprenden un rango de edades del Ordovícico al Pérmico.

Cámbrico

La Formación Puerto Blanco es la base del grupo San José. Esta unidad consiste principalmente de conglomerado, arenisca y lutita calcáreas y limolita de color rojo; posee un espesor aproximado de 140 m (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993) y es asignada al Cámbrico inferior debido a su posición estratigráfica.

La Formación Provedora está constituida por cuarcita de grano fino a grueso con pequeños conglomerados en la parte superior, así como la presencia de *Skolithos* isp. Stewart

et al. (1999) reportan la presencia de *Bristolia bristolensis* en limolitas que afloran en la parte superior de la unidad. Esta unidad posee un espesor de 120 m.

La Formación Buelna se compone de intercalaciones de caliza con lutita con braquiópodos y está en contacto por falla con la formación el Boquinete (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

La Formación Arrojos está constituida por caliza arenosa e intercalaciones de lutita calcárea y pedernal negro (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993), contiene abundantes fósiles del Cámbrico medio, destacando la presencia de braquiópodos, moluscos y trilobites. La unidad posee un espesor aproximado de 200 m.

Stewart *et al.*, 1999 dividió la secuencia cámbrica en cuatro unidades la primera tiene por nombre, unidad de cuarcita, limolita y dolomía del Neoproterozoico y Cámbrico inferior, Formación Proveedora del Cámbrico inferior, Unidad carbonatada del Cámbrico medio-superior y unidad carbonatada del Cámbrico superior.

Ordovícico

La formación El Boquinete está compuesta por lutita calcárea, caliza con pedernal, arenisca y ortocuarcita, la cual posee una abundante fauna fósil donde destacan espículas de esponja, *Liricamera* sp., *Diparelasma* sp., *Paleophyllum* sp., *Paleoalvolites* y *Streptotelasma* sp., fósiles considerados del Ordovícico.

Stewart *et al.* (1999) nombraron dos unidades del Ordovícico, la primera es unidad carbonatada del Ordovícico Inferior 1 y unidad carbonatada del Ordovícico inferior 2, en estas unidades encontraron conodontos que permitieron asignarle una edad del Ordovícico Temprano dentro de las zonas de *Cordylodus lindstromi* hasta *Reutterodus andinus*.

Devónico

La formación El Pollo consiste en estratos, de delgados a masivos, de caliza, caliza dolomitizada, dolomía y caliza arenosa con abundante pedernal, con los fósiles *Ampliospora* sp., *Alveolites* sp., *Actinostroma* sp., *Syringopora* sp., del Devónico (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

Stewart *et al.* (1999) nombraron la unidad carbonatada y siliciclástica del Devónico Superior y reporto conodontos que indican una edad de Frasniano temprano a Famenniano.

Carbonífero

Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993) proponen el término formación Santiago para describir una secuencia que está compuesta por calizas dolomitizadas, calizas y calizas arenosas con nódulos de pedernal y reportan la presencia de una fauna fósil compuesta por *Brachytyrina* sp., *Amplexiozaphrentis* sp. y *Syringopora* sp., considerada del Misisípico (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993). Es importante mencionar que esta nomenclatura se presta a confusión con el termino de Formación Santiago usado anteriormente para describir una secuencia misisípica en Oaxaca por Pantoja (1970), y también de manera informal se utiliza para nombrar a una secuencia del Jurásico Superior del área de Tamán (Reyes, 1964).

En el trabajo de Stewart *et al.* (1999) se reportan conodontos del Misisípico inferior y medio (Turnaisiano y Viseano) dentro de unidades carbonatadas.

La formación La Joya está compuesta de caliza masiva intercalada con lutita calcárea y con lentes arenosos. En la Formación La Joya se ha documentado una fauna fósil representada por *Chaetetes* sp., *Syringopora* sp., *Fenestrellina* sp., *Glytopora* sp., *Crurithyris* sp. y *Neospirifer* sp., lo cual le proporciona una edad del Pensilvánico (Ochoa-Granillo & Sosa-León, 1993).

Stewart *et al.* (1999) reporta una unidad carbonatada con foraminíferos, algas, ostrácodos y el coral *Chaetetes* sp. y por medio de estudios con los foraminíferos concluyeron es de edad Morrowano y Atokano (Pensilvánico Inferior y Medio).

Pérmico

La formación Tuntunudé está compuesta por estratos medianos a gruesos de caliza rojiza dolomitizada e intercalada con caliza arenosa, caliza limosa con nódulos de pedernal y arenisca. Los principales fósiles indicadores presentes en esta unidad corresponden a *Schawgerina* sp. y *Globivalvulina* sp., indicando una edad del Pérmico (Ochoa-Granillo & Sosa-León, 1993).

MESOZOICO

El Mesozoico está compuesto por la formación La Mina, la Formación Tarahumara y el granito Mátape del Cretácico (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

La formación La Mina es un conglomerado compuesto por fragmentos angulosos de caliza y cuarcita de rocas paleozoicas, con matriz arenosa. Cubre de manera discordante al Grupo Agua Verde y es cubierto por rocas volcánicas del terciario. Aflora en el arroyo la Mina y posee un espesor de 200 m (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

La Formación Tarahumara consiste de coladas andesíticas con intercalaciones de tobas y brechas volcánicas de igual composición. Al norte de la Sierra Agua Verde afloran 150 m de espesor de aglomerados, tobas y andesitas. Se observa en contacto por falla de rumbo con las unidades del Paleozoico superior y es cabalgada por unidades del Paleozoico inferior, siendo afectada por el Granito Mátape y cubierta en discordancia angular por la Formación Báucarit (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

Ochoa-Granillo y Sosa-León, (1993) denominaron el granito Mátape para referirse a rocas plutónicas de textura granítica y composición calcoalcalina, con una edad del Cretácico Tardío (Meniccuci, 1975). Aflora en la parte NW y SW de la Sierra Agua Verde y se encuentra afectando a las rocas preexistentes.

CENOZOICO

El Cenozoico está conformado de la unidad Granito del Puerto del Paleógeno, unidad Wilson, Formación Báucarit y rocas volcánicas del Mioceno.

La unidad Granito del Puerto está compuesto por rocas intrusivas del Paleógeno, de composición calcoalcalina con facies aplíticas y pegmatíticas (Meniccuci, 1975). Aflora en el arroyo Cajón de Mátape y afecta a las rocas del Paleozoico y Mesozoico (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

La Unidad Wilson está compuesto por rocas metamórficas, originadas a partir de las alteraciones de las rocas carbonatadas durante la intrusión de los granitos laramídicas (Ochoa-Granillo y Sosa-León, 1993).

La Formación Báucarit (Dumble, 1900; King, 1939) está compuesta por conglomerado, arenisca y flujos de basalto de edad Mioceno. Se encuentra discordante sobre las unidades paleozoicas de la Sierra Agua Verde.

Las secuencias cenozoicas que existen en la Sierra Agua Verde están conformadas por emplazamientos de ignimbritas y derrames riolíticos con edad de 12 Ma, frecuentemente intercalados con depósitos detríticos.

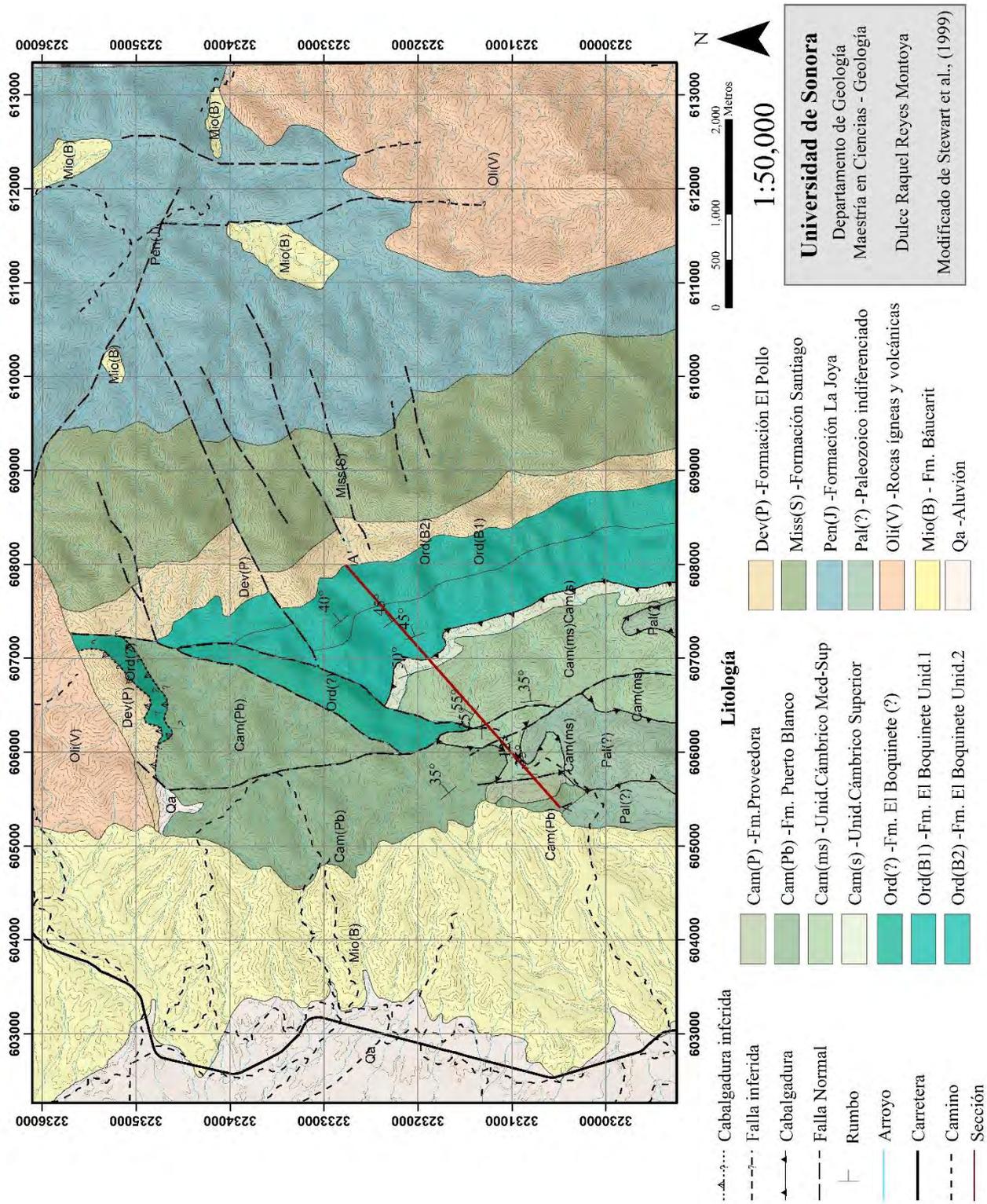


Figura 2.- Mapa Geológico Regional de la Sierra Agua Verde. Modificado de Stewart et al., 1999

4.4. GEOLOGÍA LOCAL

En el área estudiada dentro de la Sierra Agua Verde aflora una unidad indiferenciada del Paleozoico (Pal(?), Fig. 2 y 3) que consiste de dolomías y lutita azoica, y 4 unidades de edad cámbrica. La primera es la Formación Puerto Blanco (Cam(Pb), Fig. 3) la cual consiste de caliza intercalada con lutita, con braquiópodos no identificados; la segunda unidad es la Formación Proveedora (Cam(P), Fig. 3) constituida por cuarcita con algunos horizontes de lutitas; la tercera unidad llamada unidad Cámbrico medio-superior (Cam(ms), Fig. 3) se compone de caliza con horizontes de lutita del Cámbrico medio-superior, con fósiles de braquiópodos y espículas de esponja; finalmente, la unidad del Cámbrico superior (Cam(s), Fig. 3) se compone de lutita con braquiópodos.

El Ordovícico de la zona estudiada en la Sierra Agua Verde se conoce como la Formación El Boquinete (Ord(?), Fig. 3). Esta unidad litoestratigráfica está compuesta por dos unidades: la primera (Ord(B1), Fig. 3), está compuesta de caliza bioclástica, caliza arenosa, arenisca e intercalaciones de caliza con lutita, la cual posee braquiópodos y conodontos del Ordovícico Inferior; la segunda unidad (Ord(B2), Fig. 3) se compone de caliza masiva con nódulos y lentes de pedernal con algas, corales solitarios, braquiópodos gasterópodos y conodontos de la parte superior del Ordovícico Inferior.

El Mioceno (Mio(B), Fig. 3) está representado la Formación Báucarit. Su litología es conglomerado polimíctico con intercalaciones de capas de areniscas y basalto.

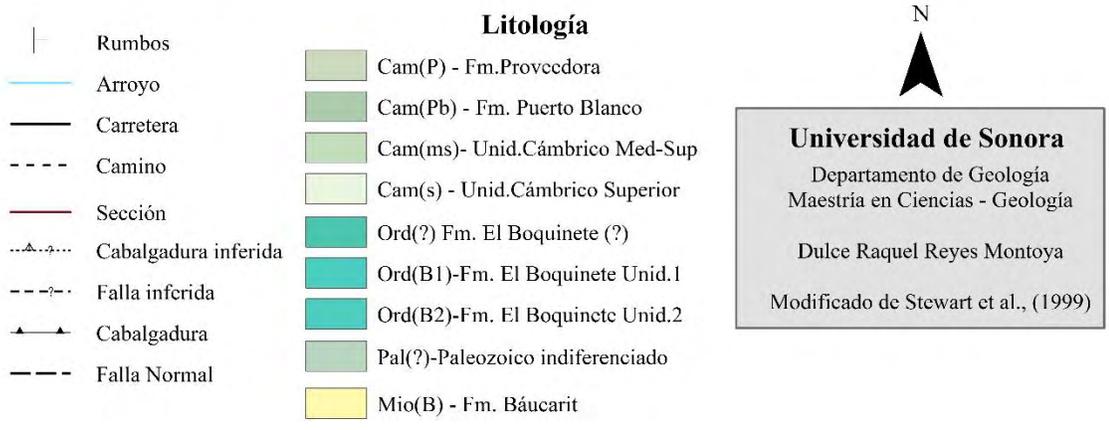
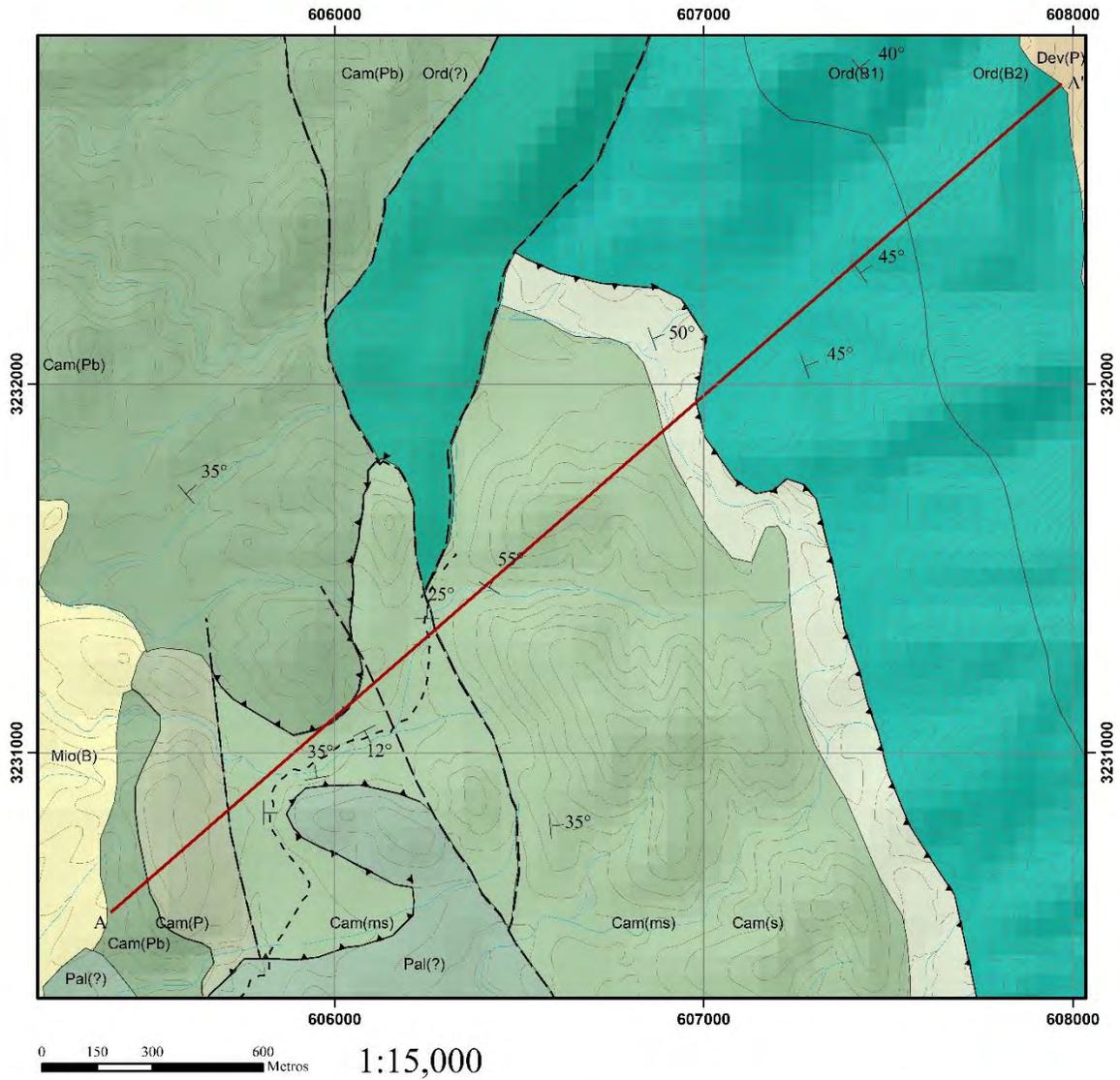


Figura 3.- Mapa Geológico del Cámbrico-Ordovícico de la Sierra Agua Verde, modificado de Stewart *et al.* (1999). Sección realizada A-A'.

4.5. ESTRATIGRAFÍA

Es importante aclarar que la estratigrafía (Fig. 18) se realizó respetando la nomenclatura de Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993), a excepción de la Unidad del Cámbrico medio-superior y Unidad Cámbrico superior, que fueron propuestos por Stewart *et al.* (1999).

En este apartado se resume la información publicada hasta la fecha sobre cada una de las formaciones litoestratigráficas presentes en la zona de estudio y se actualiza con las nuevas observaciones y hallazgos realizados a lo largo del presente estudio.

4.5.1 FORMACIÓN PUERTO BLANCO

Definición e historia nomenclatural de la unidad: la Formación Puerto Blanco fue propuesta por Cooper *et al.* (1952) en los Cerros la Proveedora en Caborca. Stewart *et al.* (1984, 1999) y Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993) correlacionaron con la Formación Puerto Blanco un paquete de areniscas, lutitas y limolitas rojizas que afloran en la Sierra Agua Verde.

Litología y espesor: al principio de la secuencia afloran intercalaciones de caliza recristalizada color gris oscuro en superficie fresca y naranja en superficie intemperizada y lutita calcárea color rojizo en superficie intemperizada, rojo oscuro en superficie fresca; los estratos son delgados, bien expuestos (Fig.4); presenta vetillas de hematita; encima caliza recristalizada color naranja en superficie intemperizada y rojo en fresca con vetillas de calcita, se presenta en estrato gruesos moderadamente expuestos. La unidad se encuentra plegada y fuertemente alterada por óxidos de Fe.

En lámina delgada se observa micrita recristalizado con reemplazamiento de dolomita. En algunos bordes de cristales de dolomita se observan óxidos de Fe, también se presentan vetillas de dolomita y de óxidos de Fe.

Esta unidad tiene un espesor de unos 80 metros.

Distribución: se encuentra aflorando sobre el camino a la mina de sílice abandonada, en la parte oeste de la Sierra Agua Verde.

Relaciones estratigráficas: se encuentra en contacto concordante con la Formación Proveedora.

Sección y área tipo: la localidad tipo se encuentra en los Cerros la Proveedora, Caborca, Sonora (Cooper *et al.*, 1952). En el área de la Sierra Agua Verde se midió una sección de 80 m con dirección NE-SW, comenzó en las coordenadas 3230262 m N; 605495 m E.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: en la sección realizada en este trabajo se encontraron fragmentos de *Lingulella* sp. y braquiópodos no identificados. Por medio de correlación con la Formación Puerto Blanco del área de Caborca, se le asigna una edad Serie 2, piso 3, Montezumano del Cámbrico inferior, debido a que en esta localidad se encuentran *Lochmanolenellus mexicana*, *Olenellus* sp., *O. puertoblancoensis*, *Mesonacis fremonti*, *Elliptocephala walcotti*, el ?molusco *Hyolithes* aff. *H. princeps*, *Salterella* sp., y los braquiópodos *Lingulella proveedorensis* y *Obolella mexicana*, entre otros, los cuales indican una edad dentro de las biozonas de *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria* (Cuen, 2013).

Ambiente de depósito: Marino somero.



Figura 4.- Afloramiento de la Formación Puerto Blanco, consiste en estratos delgados de caliza y lutita color rojizo con vetillas de óxidos de Fe y calcita.

4.5.2 FORMACIÓN PROVEEDORA

Definición e historia nomenclatural de la unidad: toma su nombre de la mina La Proveedora (Cooper *et al.*, 1956), ubicada en la región oeste de Caborca. Stewart (1982) realizó un estudio en las rocas cámbricas en la Sierra Agua Verde y correlacionó una secuencia de cuarcitas que allá aflora con la Formación Proveedora. En el presente trabajo se identificó esta formación y se respeta esta nomenclatura.

Litología y espesor: en la parte inferior de la secuencia aflora grauvaca de grano medio color rojizo en superficie intemperizada, en fractura fresca su color es verde-gris, se presenta en estratos delgados a medianos, bien expuestos, muy fracturados y plegados, con bioturbación y con manchas de óxidos de Fe. En la cima de la unidad aflora arenisca de cuarzo, color rojizo en superficie intemperizada y blanco en superficie fresca en estratos medianos a gruesos(Fig.5).

En lámina delgada se observa una arenisca madura con cuarzo de grano medio. Sus granos son subangulosos, aparece bien clasificada, grano sostenido, con contacto alargado, cóncavo convexo y suturados; presenta micas. Las areniscas gradúan localmente a grauvaca submadura de grano fino con 20% de arcilla, mica y algunos cristales de feldespato(Fig.7), muy angulosos; también se presenta arenisca de grano fino a grueso, con 5% de matriz; los granos son subredondeados, moderadamente clasificados, con contactos alargado-recto, cóncavo-convexo; algunos cristales son de feldespato y biotita, también presenta óxidos de Fe. En parte superior de la unidad, las areniscas son de grano grueso y presentan 98% de cuarzo y 2% de óxidos de Fe y biotita, con contacto suturado(Fig.6).

Esta unidad mide aproximadamente 140 metros de espesor.

Distribución: aflora en la parte oeste de la Sierra Agua Verde.

Relaciones estratigráficas: está en contacto estructural con la Unidad del Cámbrico medio-superior.

Sección y área tipo: Posee su localidad tipo en los cerros La Proveedora, oeste de Caborca (Cooper *et al.*, 1952). En la Sierra Agua Verde la sección de referencia se encuentra en las coordenadas 3230518 m N; 605669 m E.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: en la sección realizada se encontraron *Skolithos* isp. Stewart *et al.*, (1999) reporta el trilobite *Olenellus gilberti* (syn.= *Bristolia bristolensis*) en la parte superior de la formación; este trilobite indica una edad de Serie 2, piso 4, Dyerano (Cámbrico inferior).

Ambiente de depósito: se interpreta un ambiente marino de playa de alta energía debido a la presencia de arenisca de cuarzo con *Skolithos* isp, al inicio de la deposición se observa aporte terrígeno por la presencia de wackas.

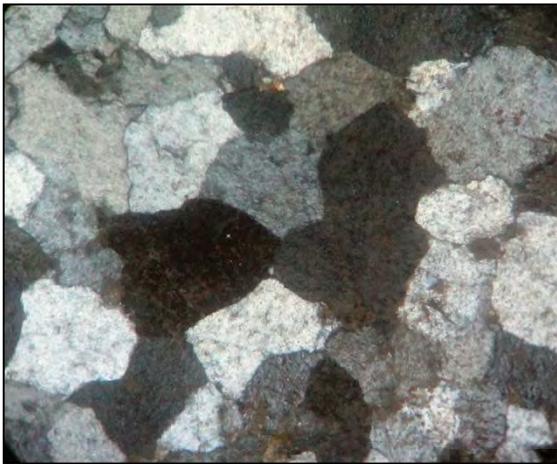


Figura 7.- Arenisca de Cuarzo de grano medio con algunos cristales de biotita, perteneciente a la Formación Proveedora

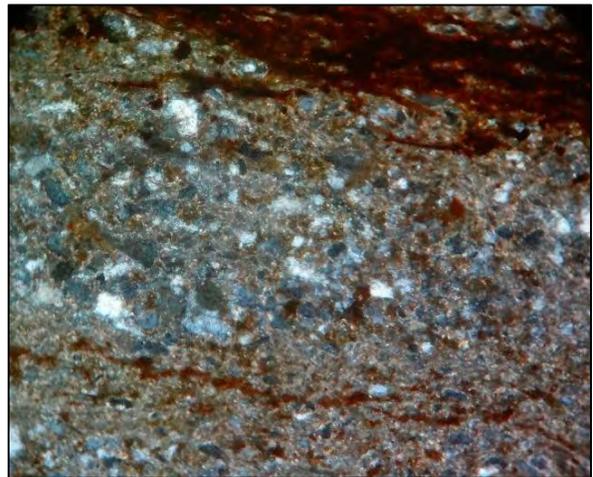


Figura 6.- Grauvaca de cuarzo con vetillas de Hematita perteneciente a la Formación Proveedora



Figura 5.- Arenisca de Cuarzo de grano medio con algunos cristales de biotita, perteneciente a la Formación Proveedora

4.5.3 UNIDAD CÁMBRICO MEDIO – SUPERIOR

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Stewart *et al.* (1999) describió esta unidad por primera vez en la parte occidental de la Sierra Agua Verde.

Litología y espesor: en la parte inferior de esta unidad se observan estratos medianos de caliza, color gris claro en superficie fresca y gris oscuro en superficie intemperizada(Fig.10), con vetillas de calcita, pobremente expuestos sobre un camino, enseguida se presenta caliza de color gris claro en superficie intemperizada, gris oscuro en fresco, con horizontes de lutitas, en estratos delgados moderadamente expuestos, con óxidos de Fe; se le observa alto grado de recristalización y plegamiento.

Aflora también una lutita, color verde en superficie intemperizada, gris oscuro en fractura fresca en estratos delgados, pobremente expuesta.

Se presenta una brecha intraformacional color gris claro con fragmentos angulosos de caliza gris oscura (Fig. 12); la brecha presenta vetillas de calcita y algunas fracturas rellenas con óxidos de Fe; los fragmentos van desde 0.2 mm hasta 4 cm de largo; después de la brecha se encuentra una caliza con horizontes de lutita, en tonalidades grises en superficie intemperizada, en fractura fresca es color gris oscuro, con óxidos de Fe, muy plegada y recristalizada con cristales de sericita(Fig.8).

Después se observa caliza color gris claro en superficie intemperizada(Fig.11) y gris oscuro en superficie fresca, presenta intemperismo kárstico; se observan bandas de lutita que varían desde 0.5 cm a 3 cm de espesor, de diferentes tonalidades grisáceas, en estratos delgados(Fig.13), moderadamente expuestos; la roca tiene vetillas de calcita(Fig.9) y cristales de sericita.

La actitud de esta unidad es de NW65°SE; 50°NE y el espesor fue calculado en 1150 metros.

Distribución: en la parte oeste de la Sierra Agua Verde.

Relaciones estratigráficas: se encuentra en contacto estructural con la Formación Proveedora y es concordante con la Unidad de Cámbrico Superior.

Sección y área tipo: Stewart *et al.* (1999) no definieron una sección y área tipo. En el presente trabajo se realizó una sección que comenzó en las coordenadas 605749.00 m E;

3230794.00 m N y finalizó en 606900.00 m E; 3231918.00 m N. El área tipo se define en las coordenadas 3231340.00 m N; 606382.00 m E.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: al final de esta secuencia se encuentran espículas de esponja y restos de braquiópodos fosfáticos como *?Angulotreta* sp. y *Lingulella* sp.

Ambiente de depósito: Marino somero de plataforma



Figura 9.- Mudstone con pequeños cristales de cuarzo y un ostrácodo AV-55



Figura 8 Caliza recrystalizada con cristales grandes de sericita y pequeños óxidos de Fe AV-30.



Figura 11.- Mudstone con finas vetillas de calcita y radiolarios?AV-42.



Figura 10.- Caliza muy recrystalizada, azoica de la Unidad de Cámbrico medio-Superior AV-20

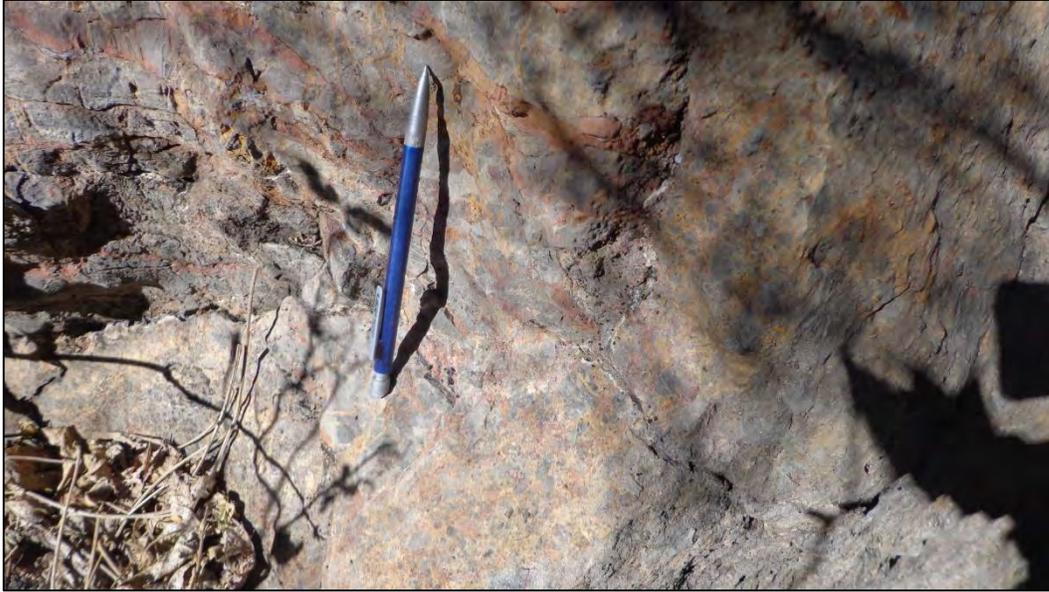


Figura 12.- Brecha intraformacional con clastos de caliza color gris que miden desde 0.2 cm hasta 4 cm



Figura 13.- Afloramiento de caliza color gris intercalada con laminaciones de lutita color beige, con estratificación delgada y paralela.

4.5.4 UNIDAD DEL CÁMBRICO SUPERIOR

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Stewart *et al.* (1999) describió esta unidad por primera vez en la Sierra Agua Verde.

Litología y espesor: aflora aproximadamente 100 metros de lutita y limolita, color café-rojizo en superficie intemperizada, café en superficie fresca, con oolitas; aparece en estratos muy delgados a laminares, moderadamente expuestos; también se tiene lutita color café claro en superficie intemperizada, café oscuro en fresca, intercalada con caliza color gris claro en ambas superficies, en estratos delgados, moderadamente expuestos(Fig.16), con una actitud de NW60°SE;45°NE.

Distribución: esta unidad se encuentra en la parte oeste de la Sierra Agua Verde.

Relaciones estratigráficas: el contacto inferior es concordante con la Unidad del Cámbrico medio-superior y el contacto superior es estructural con la Formación el Boquinete.

Sección y área tipo: Stewart *et al.* (1999) no definieron una sección y área tipo; en este trabajo la sección comienza en las coordenadas 606900.00 m E; 3231918.00 m N y finaliza 607073.00 m E; 3232087.00 m N; el área tipo se define en el punto de inicio de la sección.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Stewart *et al.* (1999) le asignaron una edad del Cámbrico superior a la secuencia por la presencia del braquiópodo *Angulotreta* sp.

Ambiente de depósito: Marino somero.

4.5.5 FORMACIÓN EL BOQUINETE

Definición e historia nomenclatural de la unidad: la Formación El Boquinete fue definida por Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993).

Litología y espesor: fue separada en dos unidades en función a sus características litológicas.

Unidad Inferior: la litología característica es un paquete de caliza con horizontes de arenisca, caliza con horizontes de lutita y brecha sedimentaria.

La unidad se compone de caliza bioclástica color gris claro con horizontes arenosos color beige en la intemperie(Fig.17), en fractura fresca los colores cambian a gris oscuro y café respectivamente; se presenta en estratos muy delgados, bien expuestos; presenta fracturas perpendiculares a la estratificación y microfallas; varía localmente a arenisca con lentes de caliza color beige claro en superficie intemperizada y gris claro en fractura fresca, en estratos medianos, moderadamente expuestos. Los paquetes de caliza(Fig.14) con horizontes de arenisca varían en cuanto al espesor de estos horizontes; algunos tienen estratificación plano paralela, otros presentan rizaduras y estratificación muy irregular.

La caliza con laminaciones de lutita, presenta color gris claro en superficie intemperizada(Fig.15); en fractura fresca el color cambia a gris oscuro y café; los estratos son medianos y laminares, fracturados; hay estructuras algaceas; al final de la sección medida aflora una caliza de aspecto brechoide, color blanco con los clastos color rosa y gris claro en ambas superficies. Su actitud es NW45°SE; 50°NE.

Unidad Superior: Está compuesta por bancos masivos de caliza con nódulos y lentes de pedernal de color negro, con corales solitarios, caliza dolomitizada y caliza arenosa intercalada en estratos de 2 a 5 metros de espesor con abundante fauna fósil y estructuras de slumps. Su actitud es de NW45°SE; 50°NE.

El espesor total de la Formación el Boquinete es de 945 metros.

Distribución: según Ochoa-Granillo y Sosa-León (1993), aflora en el cerro la Tinaja. En este trabajo, se estudiaron los afloramientos que se encuentran 1 km al suroeste del cerro el Pollo, en la parte central de la Sierra Agua Verde.

Relaciones estratigráficas: el contacto inferior es estructural con la Unidad del Cámbrico superior y el contacto superior es concordante con la Formación El Pollo.

Sección y área tipo: la sección comenzó en las coordenadas 607041 m E; 3231974 m N y finalizó en las coordenadas 607549 m E; 3232397 m N con dirección 50° NE; el área tipo se define en las coordenadas 607447 m E; 3232313 m N.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: en el presente trabajo se encontraron los conodontos *Drepanodus* sp. y *Scolopodus subrex* en la unidad inferior, lo cual indica una edad Ordovícico Inferior. En la unidad superior, Ochoa-Granillo y Sosa-León, (1993)

identificaron los corales *Palaeoalveolites* sp., *Paleophyllum* sp. y *Streptelasma* sp. del Ordovícico Medio. Sin embargo, Stewart et al. (1999) asignaron esta unidad a la parte superior del Ordovícico Inferior (Zona de *Reuterodus andinus*) por la presencia de *Protopanderodus gradatus*, *Oepikodus communis*, *Drepanoistodus forceps*, entre otros conodontos.

Ambiente de depósito: Marino somero



Figura 14.- Mudstone recristalizado con fragmentos de conodontos BOC-14.



Figura 15.- Mudstone con vetillas de calcita y cristales pirita BOC-08



Figura 16.- Afloramiento de lutita color café en estratos medianos de la Unidad del Cámbrico Superior.



Figura 17.- Afloramiento de caliza con laminaciones de lutita y limolita color café, con abundantes fracturas algunas rellenas de calcita. Formación el Boquinete.

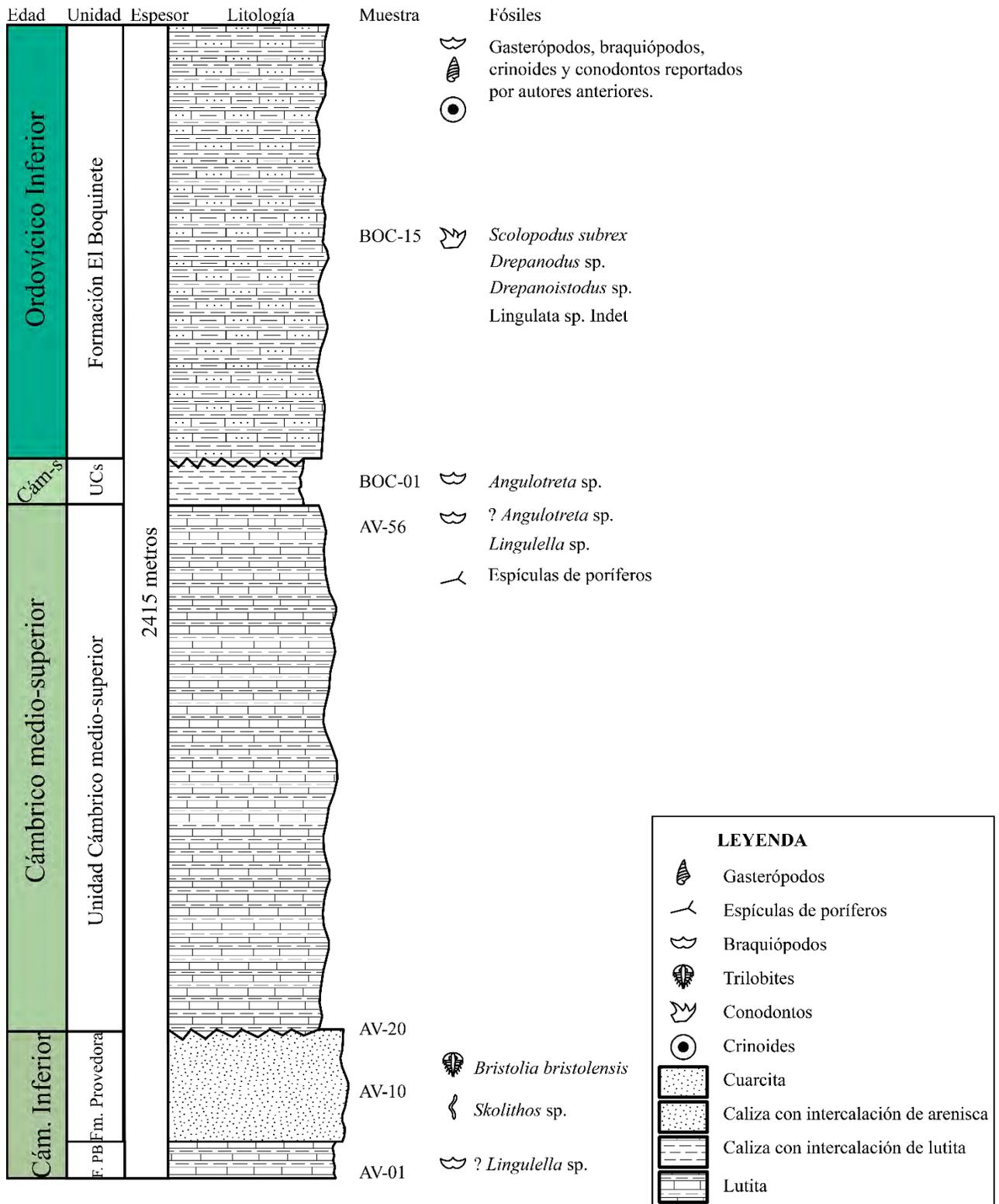


Figura 18.- Columna estratigráfica de las unidades del Cámbrico-Ordovícico de la Sierra Agua Verde realizada en este trabajo, con la ubicación de los fósiles encontrados.

5. ÁREA DE ARIVECHI

5.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el noroeste de la República Mexicana, en la región centro-oriental del estado de Sonora (Fig. 19). Dentro del municipio de Arivechi, se encuentra entre los paralelos $28^{\circ} 55'$ y $28^{\circ} 53'$ de latitud norte y los meridianos $109^{\circ} 15'30''$ y $109^{\circ} 17'30''$ de longitud oeste.

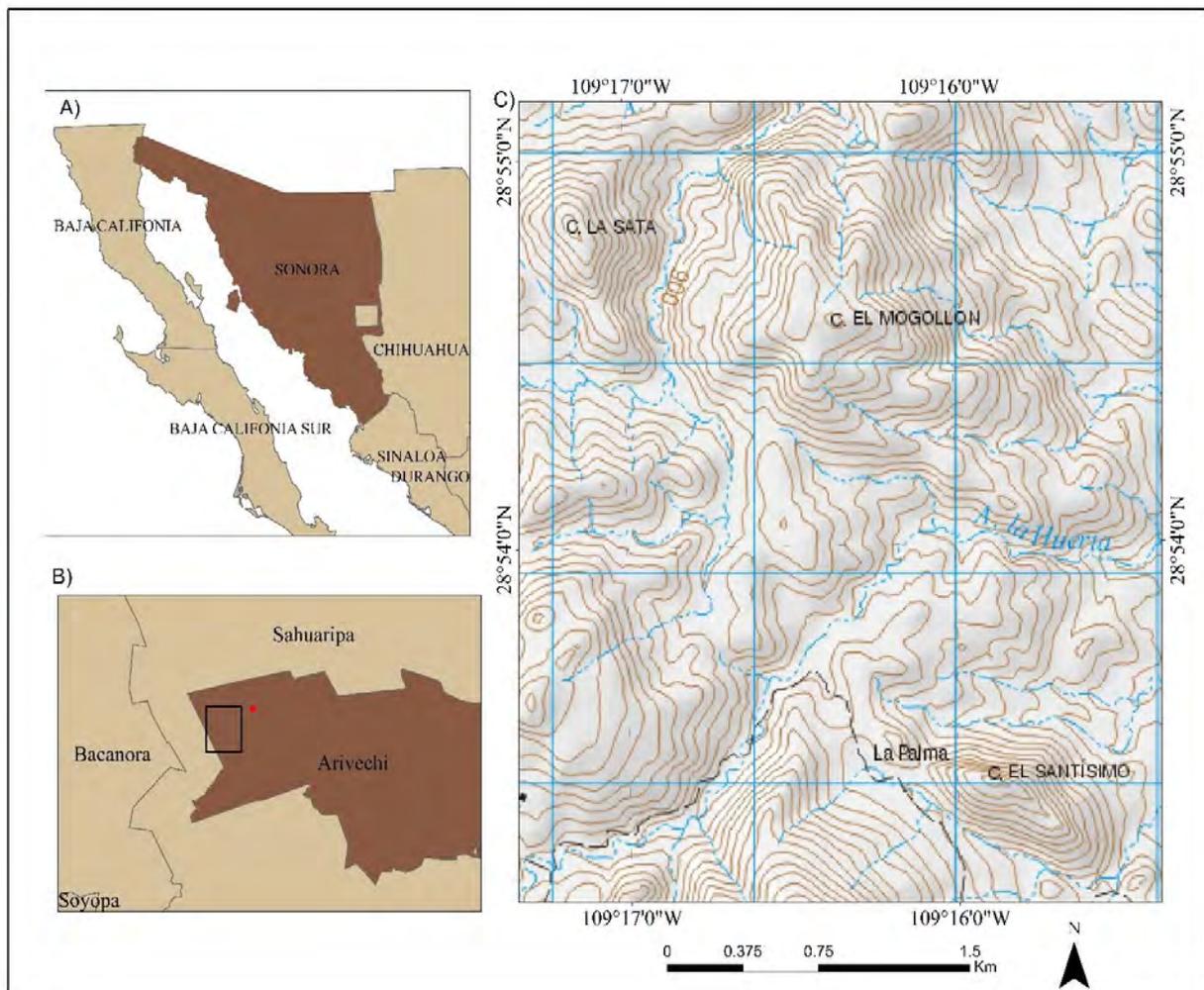


Figura 19.-Localización del área estudiada en Arivechi. A) Ubicación del área de estudio en el noroeste de la República Mexicana; B) Ubicación del área de estudio en el municipio de Arivechi; C) Área de estudio (tomado de la carta topográfica H12D56 de INEGI). En color rojo se señala el pueblo de Arivechi.

5.2. VÍAS DE COMUNICACIÓN

El acceso principal es la carretera estatal No. 20 que va de Hermosillo a Sahuaripa, Sonora. Cubriendo una distancia de 225 km, hacia Sahuaripa, se torna hacia el sur aproximadamente 16 km, hasta Arivechi, Sonora; finalmente se dirige un camino de terracería aproximadamente 8 km al oeste del pueblo.

5.3. GEOLOGÍA REGIONAL

En el área de Arivechi afloran rocas con edades desde el Paleozoico hasta el reciente. El Paleozoico está representado por las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta, Milpillas y El Santísimo. Además, en el Cerro el Yugo, al oeste de Arivechi, aflora el Devónico superior, y hacia el este de Arivechi las formaciones Peñasco Blanco y Palmar. Las rocas del Mesozoico incluyen la formación Las Cúmaras, grupo Arivechi y formación Potrero. El Cenozoico lo representan rocas ígneas intrusivas y rocas volcánicas, toba riolítica, riolita y la formación Báucarit. Gravas y arenas afloran a las márgenes del río Sahuaripa y aluviones recientes, afloran sobre los lechos de ríos y arroyos que drenan la región.

PALEOZOICO

En el área de Arivechi afloran los sistemas Cámbrico, Ordovícico, Devónico, Carbonífero y Pérmico, distribuidos en las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta, Milpillas, El Santísimo y el Cerro el Yugo, que afloran en el oeste de Arivechi, y hacia el este de Arivechi las formaciones Peñasco Blanco y Palmar.

Cámbrico medio-superior

La Formación La Sata fue definida por Almazán-Vázquez (1989) y está compuesta de intercalaciones de caliza con lutita, arenisca, cuarcita, lutita, calizas oncolítica y caliza oolítica con moluscos y trilobites del Cámbrico medio.

La Formación el Mogallón, descrita por Almazán-Vázquez (1989) en el Cerro El Mogallón, está formada de calizas, lutitas, limolita y caliza intercalada con lutita con poríferos, braquiópodos y trilobites que vivieron durante mediados del Cámbrico medio.

La Formación La Huerta se constituye por calizas en estratos delgados con lutitas laminares con abundante fauna de braquiópodos y trilobites no identificados del Cámbrico medio.

La Formación Milpillas se compone de lutitas calcáreas y calizas arcillosas con fauna de braquiópodos, moluscos, trilobites y conodontos del Cámbrico superior (Almazán-Vázquez, 1989).

Es importante mencionar que en el Cerro El Volcán, ubicado 4 km al norte del Cerro la Sata, afloran unidades del Cámbrico medio reportadas por Almazán-Vázquez y Fernández (1988).

Ordovícico Inferior

El Ordovícico se expone en el Cerro el Santísimo, donde Almazán-Vázquez (1989) definió la Formación El Santísimo, la cual se caracteriza por lutitas, calizas arcillosas y calizas en estratos gruesos con braquiópodos lingúlidos y trilobites del Ordovícico Inferior.

Devónico

Palafox (2011) reporta una secuencia carbonatada del Devónico superior con foraminíferos, estromatopóridos, corales, entre otros. Esta secuencia es correlacionable con la Formación Martín y aflora en el Cerro El Yugo, ubicado aproximadamente 5 km al suroeste del Cerro el Santísimo.

Carbonífero-Misisípico medio

Formación Peñasco Blanco fue propuesta por Palafox y Martínez (1985) para designar una secuencia homogénea calcárea, cuyo afloramiento típico se encuentra en el Cerro Peñasco Blanco. La edad de esta caliza es Misisípico medio y se determinó por la presencia del coral *Amplexizaphrentis clinatus* y el braquiópodo *Brachytyrina* sp. (Palafox et al., 1984).

Pérmico inferior

La formación Palmar (King, 1939) incluye una secuencia formada por intercalaciones de lutita, arenisca, caliza y dolomía, que afloran en el cerro El Palmar. Ésta formación es motivo de debate debido que autores han asignado distintas edades. King (1939) le asignó una edad Albiano con base a *Phylloceras* sp. aff. *P. forbesianum*. Palafox y Martínez (1985) no encontraron evidencias para asignarle una edad cretácica. Minjárez *et al.* (1985), reportaron las especies de fusulínidos *Schubertella* sp. y *Schwagerina* sp. del Pérmico temprano, lo cual indica una edad Paleozoico. Fernández y Almazán-Vázquez (1996) reportan esta formación como Precámbrico.

Pérez-Ramos (1992) reporta una sección con niveles de fusulínidos del Pérmico inferior en el área del arroyo Real Viejo, ubicado al suroeste del área de estudio.

MESOZOICO

Jurásico Superior

La formación Las Cúmaras fue 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 de la especie *Hibolites* sp. y el amonite *Subdichotomoceras* sp. de edad Kimeridgiano (Almazán-Vázquez y Palafox, 2002)

Cretácico Inferior

Palafox y Martínez (1985) propusieron el termino Grupo Arivechi para referirse a una secuencia detrítico-carbonatada que aflora en el Cerro de Las Conchas compuesta en la base por un conglomerado que pasa transicionalmente a una intercalación de lutitas y areniscas calcáreas abundantemente fosilíferas, que subyacen a una caliza masiva con *Orbitolina* (*Mesorbitolina*) *texana* Roemer y rudistas de edad Aptiano-Albiano.

Cretácico Superior

El término Formación Potrero fue propuesto por King, (1939) e incluye una secuencia vulcanosedimentaria de lutita con restos de plantas, estratificación delgada de caliza café y flujos contemporáneos de andesita y toba. Pubellier y Rangin (1987), obtienen una edad absoluta de 77.5 ± 3.88 Ma por el método de K/Ar, determinando una edad Cretácico Tardío.

CENOZOICO

Paleógeno

Intrusionando a las rocas del Cretácico Superior, afloran rocas intrusivas, granodiorita y monzonita, de 51.11 ± 2.05 a 56.07 ± 2.05 (K-Ar en hornblenda), rocas dioríticas de 41.00 ± 2.05 K-Ar en hornblenda (Pubellier y Rangin, 1987) y un pórfido andesítico que afectan a las unidades más antiguas. También afloran rocas volcánicas como toba riolítica y riolita del Oligoceno.

Neógeno

La Formación Báucarit (King, 1939) es una secuencia de una intercalación de arena, arena arcillosa y conglomerado bien estratificados, no consolidados, con interestratificación de flujos de basaltos. La edad de la secuencia es de 23 a 11 Ma. Esta formación aparece discordante con respecto a las rocas sedimentarias cámbricas, ordovícicas, cretácicas y jurásicas del área y a la vez es cubierta discordantemente por los basaltos cuaternarios del valle de Sahuaripa.

Sedimentos continentales del Plioceno afloran a lo largo de las márgenes del río Sahuaripa, consisten de conglomerados polimíctico y areniscas débilmente consolidadas (Palafox y Martínez, 1985).

Cuaternario

Gravas y arenas cubren los márgenes del río Sahuaripa y aluviones recientes se encuentran sobre los lechos de ríos y arroyos que drenan la región.

5.4. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio afloran rocas con edades que van del Cámbrico al Reciente (Fig. 20). Las rocas más antiguas son del Cámbrico.

La Formación La Sata (Cmls, Fig. 20) está constituida por intercalaciones de caliza con lutita, arenisca, cuarcita, lutita, caliza oncolítica y caliza oolítica; la Formación el Mogallón (Cmem, Fig. 20) está compuesta de calizas, lutitas, limolita y caliza intercalada con lutita con poríferos, braquiópodos y trilobites que vivieron durante mediados del Cámbrico. La Formación La Huerta (Cmlh, Fig. 20) se constituye por caliza en estratos delgados con lutita laminar y abundante fauna de braquiópodos del Cámbrico superior. Finalmente, la Formación Milpillas (Csm, Fig. 20) se compone de lutita calcárea y caliza arcillosa con fauna de braquiópodos, moluscos, trilobites y conodontos (Almazán-Vazquez, 1989).

La Formación El Santísimo del Ordovícico (Oies, Fig. 20) se expone en la parte sureste del área de estudio y se caracteriza por lutita, caliza arcillosa y caliza en estratos gruesos con equinodermos, ostrácodos y conodontos.

En el área aflora también la Formación Potrero (KsP, Fig. 20), la cual es una secuencia compuesta de intercalaciones de lutita con restos de plantas, limolita, arenisca, toba y dique-estratos de andesita (Palafox y Martínez, 1985). Al oeste del Cerro La Sata aflora un cuerpo intrusivo de composición granodiorítica (Ksg, Fig. 20) limitado por fallas normales. Este afecta al paquete carbonatado del Cámbrico medio produciendo una reducida aureola de metamorfismo de contacto (Almazán-Vazquez, 1989).

La Formación Báucarit (Tsb, Fig. 20) está constituida por conglomerado y arenisca, con horizontes de rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica. Aflora en la porción oeste del área de estudio. Sobre la Formación Báucarit se encuentran concordantemente coladas de basalto vesicular (Tb, Fig. 20).

El aluvión (Qal, Fig. 20) corresponde a los depósitos de arenas y gravas que afloran en los márgenes de los ríos del área de estudio.

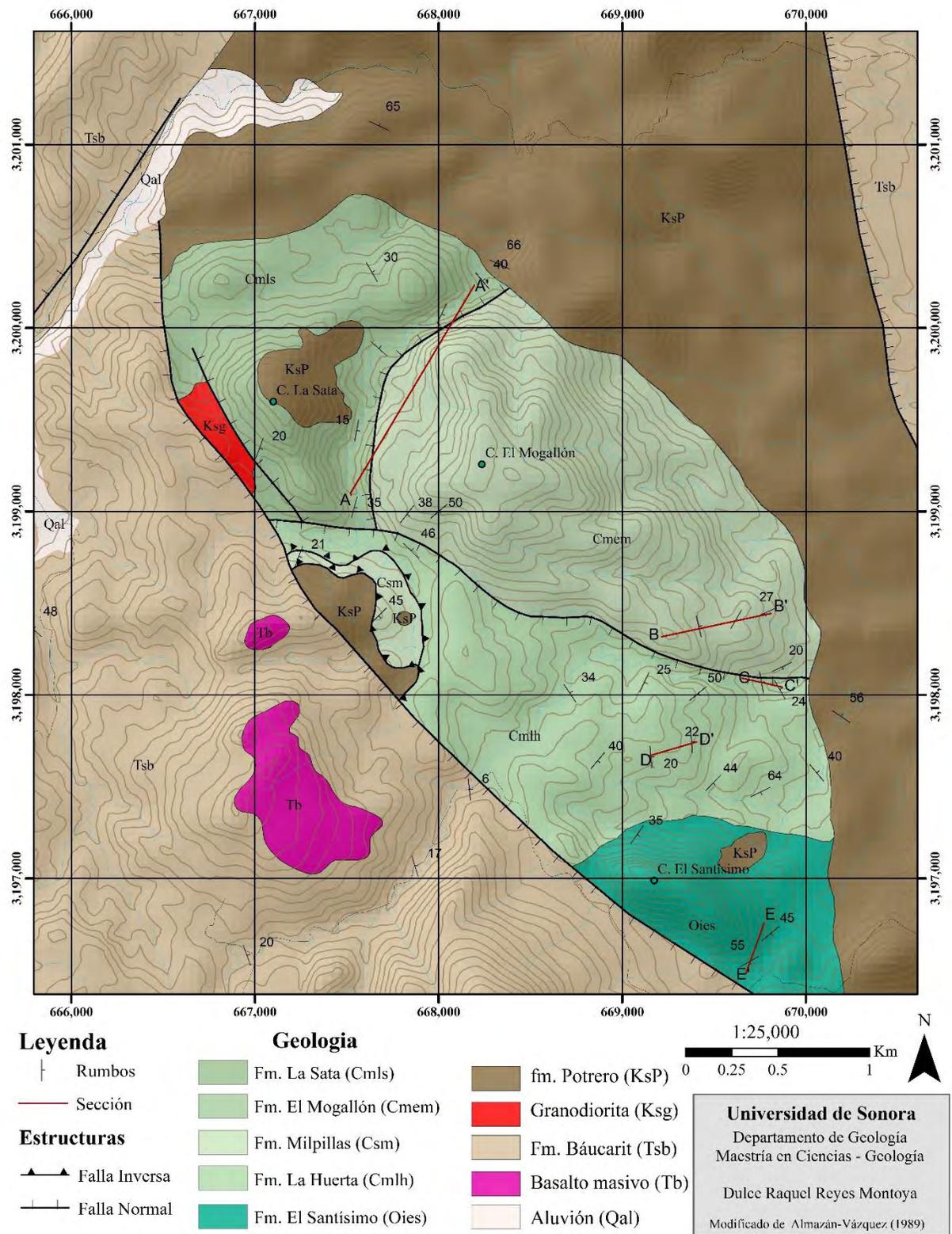


Figura 20.- Mapa geológico del Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, modificado de Almazán-Vázquez (1989).

5.5. ESTRATIGRAFÍA

Almazán-Vázquez (1989) propuso 4 formaciones del Cámbrico: La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas y también la Formación El Santísimo del Ordovícico Inferior.

En este trabajo se respeta la nomenclatura utilizada por Almazán-Vázquez (1989), y a su vez se redefinen estas formaciones debido a que la descripción de campo y de fauna fósil no corresponde a lo observado en campo por la autora de este trabajo.

5.5.1 FORMACIÓN LA SATA

Definición e historia nomenclatural de la unidad: toma su nombre del Cerro la Sata, ubicado al oeste de Arivechi y fue definida por Almazán-Vázquez (1989)

Litología y espesor: en este trabajo esta formación se dividió en seis unidades litológicas (Fig. 23). La primera unidad tiene en la base caliza gris claro en superficie intemperizada, gris oscuro en superficie fresca, con vetillas de calcita, y en estratos gruesos a masivos, bien expuestos, con intemperismo kárstico. Esta unidad tiene un espesor de 78 metros. La segunda unidad consiste de caliza gris oscuro en superficie intemperizada, gris claro en superficie fresca, con laminaciones de lutita, con vetillas de calcita, en estratos medianos y estratificación ondulada; su espesor es de 80 metros. La tercera unidad está formada por caliza gris con nódulos de arena color verde en ambas superficies. En la cima de esta unidad tenemos 15 metros de caliza oolítica y oncolítica recristalizada (Fig. 21); los oolitos miden 0.5 cm aproximadamente y los oncolitos tienen tonalidades rojas-amarillas y van desde 1 cm a 2 cm de ancho. En total, esta unidad tiene un espesor de 47 metros. La cuarta unidad se constituye de arenisca calcárea de grano medio color beige en superficie intemperizada y blanco en superficie fresca, ortocuarcita de grano grueso de color blanco en ambas superficies, en estratos gruesos que presentan estratificación cruzada (Fig. 22). Esta unidad tiene un espesor de 45 metros. La quinta unidad está compuesta de 15 metros de lutita intercalado con caliza, en superficie intemperizada son color amarillo y en superficie fresca son beige. Las lutitas se encuentran en estratos delgados y las calizas se presentan en estratos muy gruesos, en estratificación paralela. Finalmente la sexta unidad se compone de caliza gris con laminaciones de lutita color rojo-amarillo en estratos medianos, con bioclastos y vetillas de calcita. Su espesor es de 14 metros.

Distribución: se sitúa sobre el arroyo Milpillas, en el margen este del Cerro la Sata.

Relaciones estratigráficas: el contacto inferior y superior no se observa. Almazán-Vazquez (1989) indicó que el contacto superior con la Formación el Mogallón es concordante.

Sección y área tipo: la localidad tipo se encuentra 900 metros al nororiente del cerro La Sata. La sección se realizó por todo el arroyo Milpillas, comenzó en las coordenadas 667550E; 3199040 N y finalizó en las coordenadas 668239 E; 3200184 N.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: en la sección realizada no se encontraron fósiles que puedan asignar una edad específica. Sin embargo, Almazán-Vazquez (1989) reportó trilobites como *Amecephalus* sp. y *Fieldaspis* sp., moluscos como *Hyolithes* sp. y *Scenella* sp., fragmentos de braquiópodos, y equinodermos sin identificar. Con esta fauna, Cuen-Romero (2013) asignó esta Formación a la Zona de *Poliella denticulata* (Serie 3, Piso 5).

Ambiente de depósito: Marino somero.



Figura 22.- Afloramiento de Caliza gris con oncolitos y oolitos de la Formación La Sata.

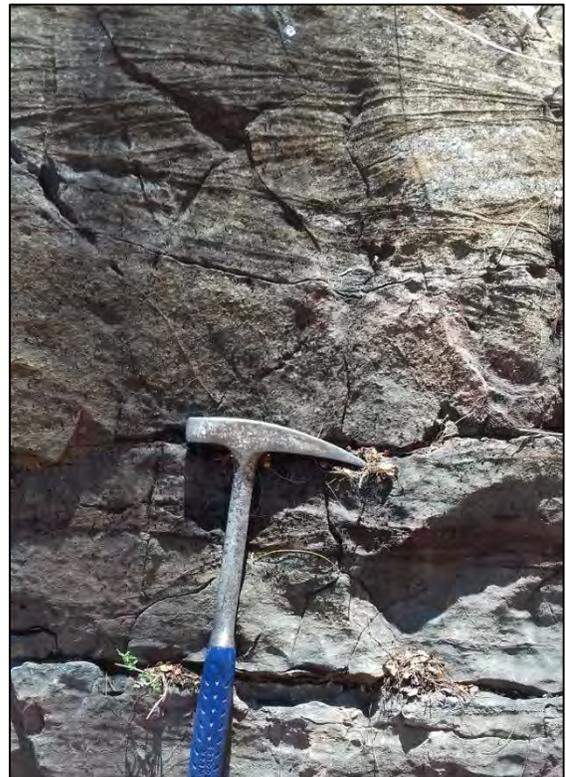


Figura 21.- Afloramiento de arenisca con estratificación cruzada de la Formación la Sata.

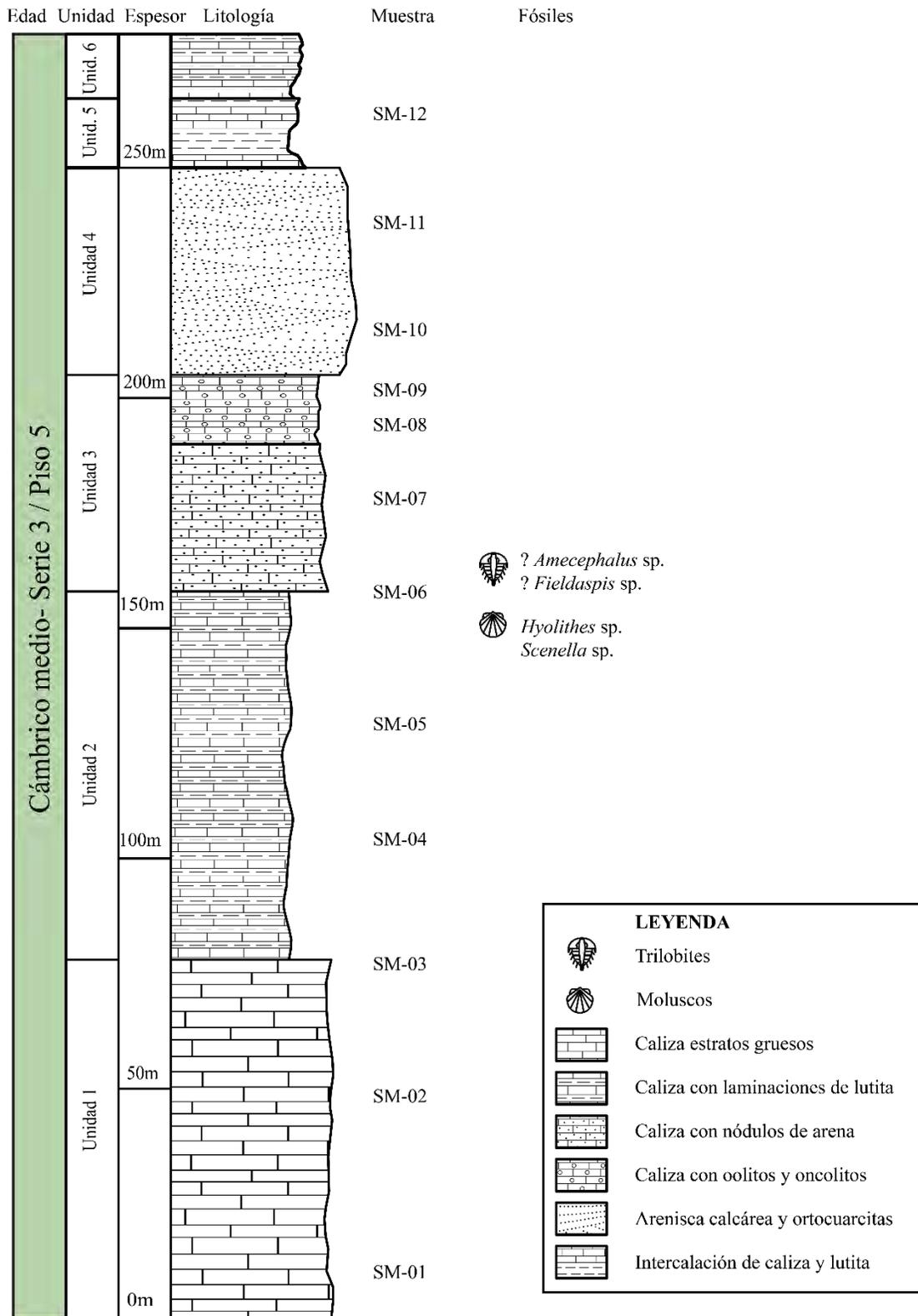


Figura 23.-Columna estratigráfica de la Formación la Sata que aflora en el arroyo Milpillás. La columna tiene un espesor de 279 metros y fue dividida en 6 unidades de acuerdo a su litología; se indica también la ubicación de las muestras tomadas en la sección y la presencia de fósiles.

5.5.2 FORMACIÓN EL MOGALLÓN

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Fue descrita por Almazán-Vazquez (1989) y toma su nombre del Cerro el Mogallón, ubicado al oeste del Poblado de Arivechi, Sonora. En este trabajo se usa la nomenclatura de Almazán-Vazquez (1989).

Litología y espesor: en este trabajo la Formación El Mogallón se dividió en 4 unidades debido a sus características litológicas (Fig. 27).

La secuencia comienza con un paquete compuesto de 110 metros de caliza gris claro en superficie intemperizada y gris oscuro en corte fresco, en estratos masivos, con vetillas de calcita. Ocasionalmente se presenta una brecha intraformacional, color gris claro en superficie fresca como intemperizada. Los clastos miden desde 0.5 cm a 2 cm. Finalmente se encuentra caliza gris color gris claro con horizontes de lutita color naranja, que cambia transicionalmente a lutitas color rojizo. La segunda unidad (Fig. 24) se compone de lutitas color rojizo en superficie intemperizada y rojo oscuro en superficie fresca, en estratos delgados, con abundantes espículas de esponja, braquiópodos y trilobites (Fig. 26); esta unidad tiene un espesor de 40 m. La tercera unidad se compone de limolita calcárea color naranja en superficie intemperizada y rojo oscuro en fractura fresca, en estratos delgados, con vetillas de calcita; presenta algunos horizontes muy delgados de color negro, con presencia de espículas de esponja, braquiópodos y trilobites; el espesor de esta unidad es de 80 m. La cuarta unidad está constituida por caliza color negro en superficie intemperizada y superficie fresca, intercalada con lutitas color rojo en ambas superficies; las lutitas van de 0.5 cm a 2.5 cm y contienen fósiles traza, espículas de esponja y trilobites (Fig. 25); la caliza se encuentra en estratos delgados a medianos con vetillas de calcita y óxidos de Fe; esta unidad mide 60 m.

Distribución: Aflora en el Cerro El Mogallón.

Relaciones estratigráficas: Sobreyace concordantemente a la Formación La Sata. Almazán-Vázquez (1989) infiere que el contacto con la Formación la Huerta es concordante. En este trabajo no se encontró el contacto entre estas unidades.

Sección y área tipo: La sección de 580 metros comienza en las coordenadas 669230m E; 3198317m N y finaliza en las coordenadas 669780m E; 3198437m N, 1.2 km

al sureste de la cima del Cerro El Mogallón. La localidad tipo se encuentra en las coordenadas: 669488 m E; 3198342 m N.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: En la unidad 1 se encuentran espículas de poríferos; en la unidad 2 también se observan espículas de poríferos, así como los braquiópodos *Dictyonina* sp. y *Acrothele concava*, y los trilobites *Ptychagnostus atavus* y *Ogygopsis typicalis* (Fig. 25). En la unidad 3, los fósiles obtenidos son los siguientes poríferos: *Ratcliffespongia arivechensis*, *Valospongia sonorensis*, *Choia* sp., *Diagoniella* sp.; también se encontraron los braquiópodos *Acrothele concava*, y *Linnarsonia* sp., los trilobites *Ptychagnostus atavus*, *Modocia typicalis* y *Ogygopsis typicalis*. En la unidad 4 se encuentran espículas de hexactinélidas, y el trilobite *Amecephalus arrojensis*. Esta asociación de fósiles permite ubicar esta formación en la Serie 3, Drumiano, Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Ambiente de depósito: Marino de plataforma abierta, se interpreta debido a la fauna de trilobites.



Figura 26.- Nivel de fósiles no identificados ubicados en las coordenadas 3198411m N;669587m E en la unidad 4 de la Formación El Mogallón.



Figura 24.- Lutita calcárea con abundantes espículas de esponja y fragmentos de *Ogygopsis typicalis*, de la unidad 2 de la Formación el Mogallón.



Figura 25.- Afloramiento de la Formación el Mogallón, vista hacia el Este.

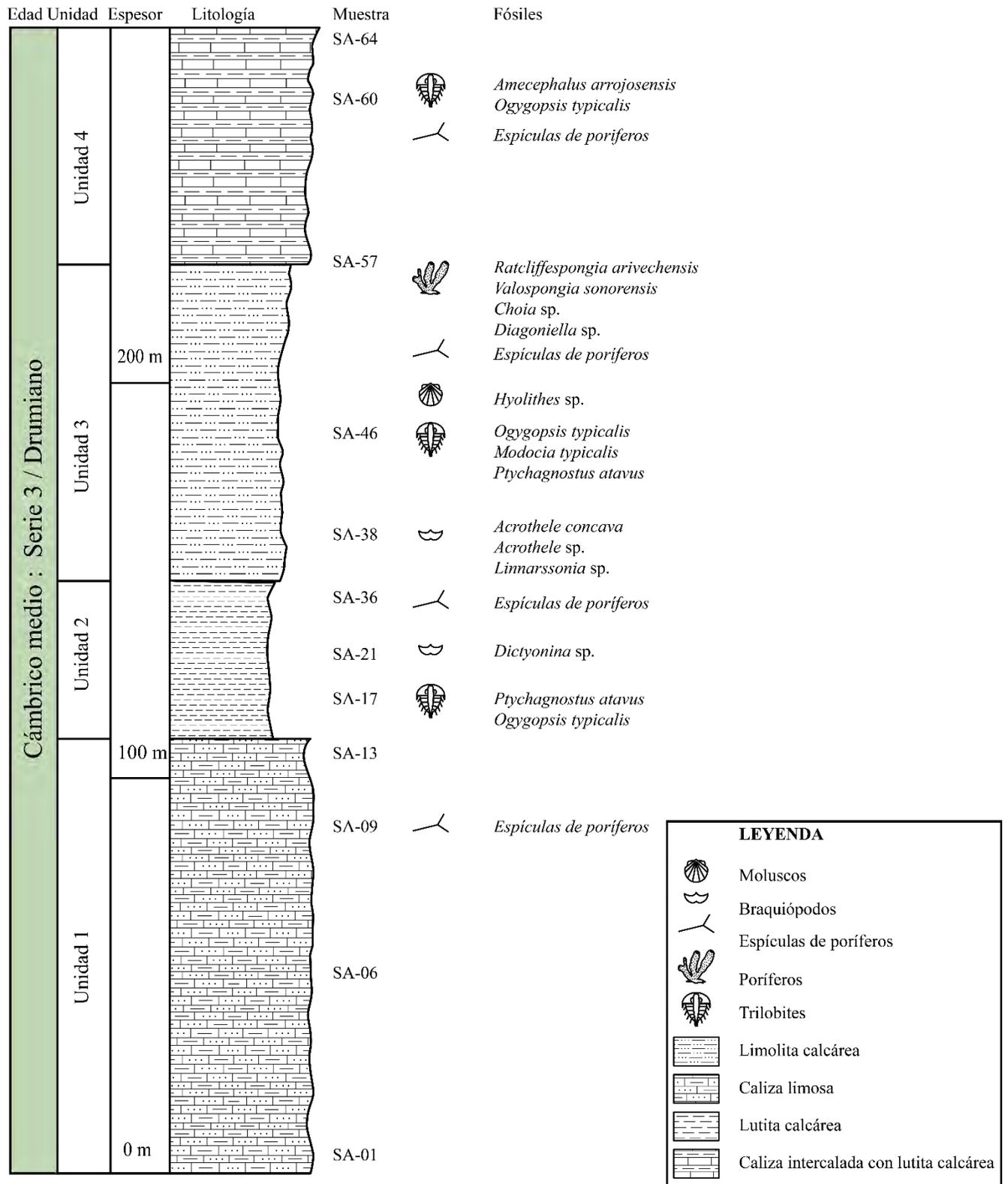


Figura 27.- Columna estratigráfica de la Formación El Mogallón. La columna fue dividida en 4 unidades de acuerdo a su litología; se indica también la ubicación de las muestras tomadas en la sección y la presencia de fósiles.

5.5.3 FORMACIÓN LA HUERTA

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Almazán-Vázquez (1989) definió esta formación, la cual toma su nombre del arroyo La Huerta, en el área de Arivechi y consiste principalmente de calizas en estratos delgados intercalado con estratos muy delgados a laminares de lutita con braquiópodos.

Litología y espesor: esta secuencia (Fig. 33) se compone de caliza arenosa gris claro en superficie intemperizada, y gris oscuro en superficie fresca, intercalados con horizontes de lutita color rojo-naranja en superficie intemperizada y rojo oscuro en fractura fresca. Estos horizontes miden desde 0.5 cm hasta 2 cm; los estratos son delgados a medianos, fracturados y contienen vetillas de calcita y presentan estratificación ondulada. Localmente, la secuencia tiene niveles de oolitos (Fig. 30) y arenisca calcárea de grano fino; tiene un espesor de 112 metros y una actitud de NW5°SE/20°NE.

En lámina delgada se observa packstone con granos de cuarzo de grano muy fino con pellets, cefalópodos, ostrácodos, trilobites, braquiópodos, equinodermos y con algunos fragmentos de fósiles reemplazados por sílice (Figs. 28, 29, 31, 32).

Distribución: la unidad aflora en el arroyo La Huerta y lomeríos que se encuentran al sur de dicho arroyo.

Relaciones estratigráficas: se encuentra en contacto por falla con la Formación el Mogallón.

Sección y área tipo: La sección comienza en las coordenadas 669157m E; 3197666m N hasta 669389m E; 3197742m N, con una dirección de 20° NE.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: se encuentran fragmentos de trilobites no identificados y el braquiópodo *Lingulella* sp. A mitad de la secuencia se encuentra una abundante fauna de braquiópodos como *Lingulella* sp., *Linnarssonina* sp., *Quadrisonia* sp., *Angulotretra triangularis* y el molusco *Hyolithes* sp., cefalópodos, trilobites y equinodermos. A partir del contenido en braquiópodos, se le asigna una edad de Cámbrico superior (Furongiano-Paibiano).

Ambiente de depósito: Marino somero.

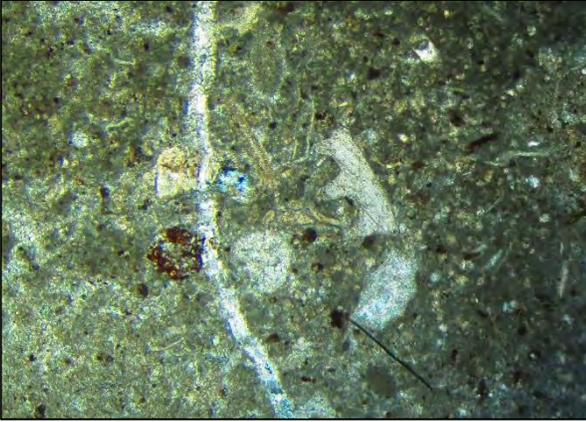


Figura 29.- Packstone con moluscos, trilobites, braquiópodos, pellets, algunos granos de cuarzo y vetillas de calcita; vista en 4x en luz polarizada.

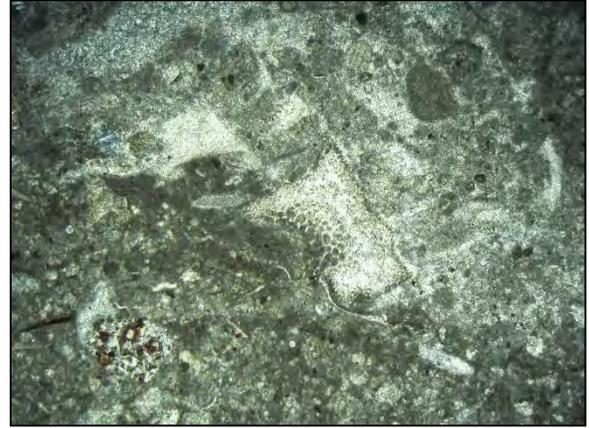


Figura 28.- Packstone recrystalizado, se observan, pellets, fragmentos de trilobites, braquiópodos, moluscos y equinodermos; vista 4x luz polarizada.



Figura 31.- Fragmento de trilobite. Vista en 4x luz polarizada.



Figura 32.- Packstone con recrystalización, con pellets, calciesferas y trilobites. Vista 4x en luz polarizada.

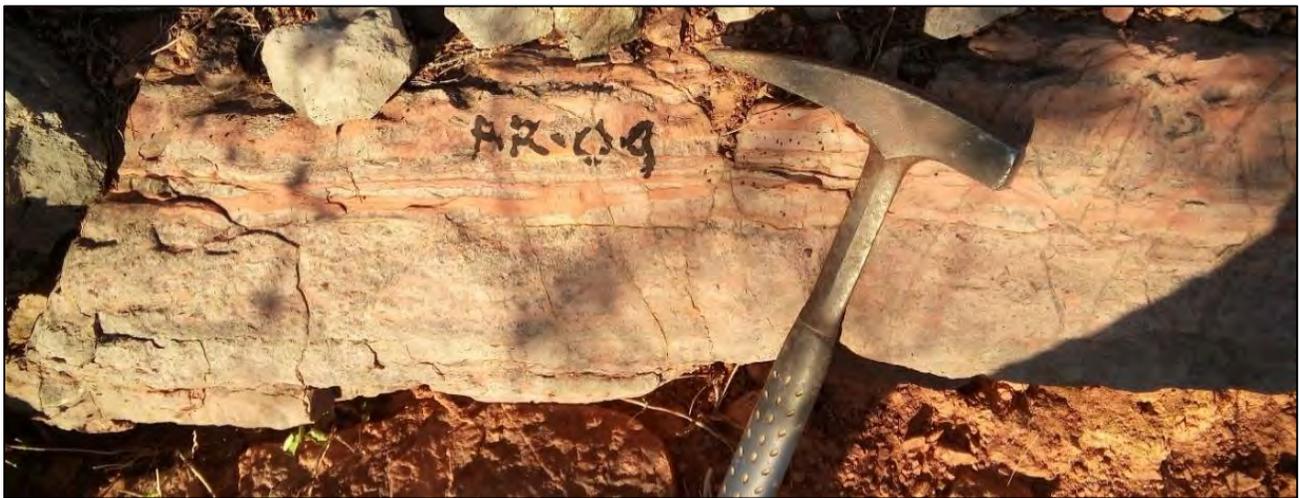


Figura 30.- Vista de campo de la muestra AR-04: calizas grises con laminaciones arcillosas color rojo, en estratos delgados a laminares, presenta vetillas de calcita y fracturas, con oolitos y braquiópodos.

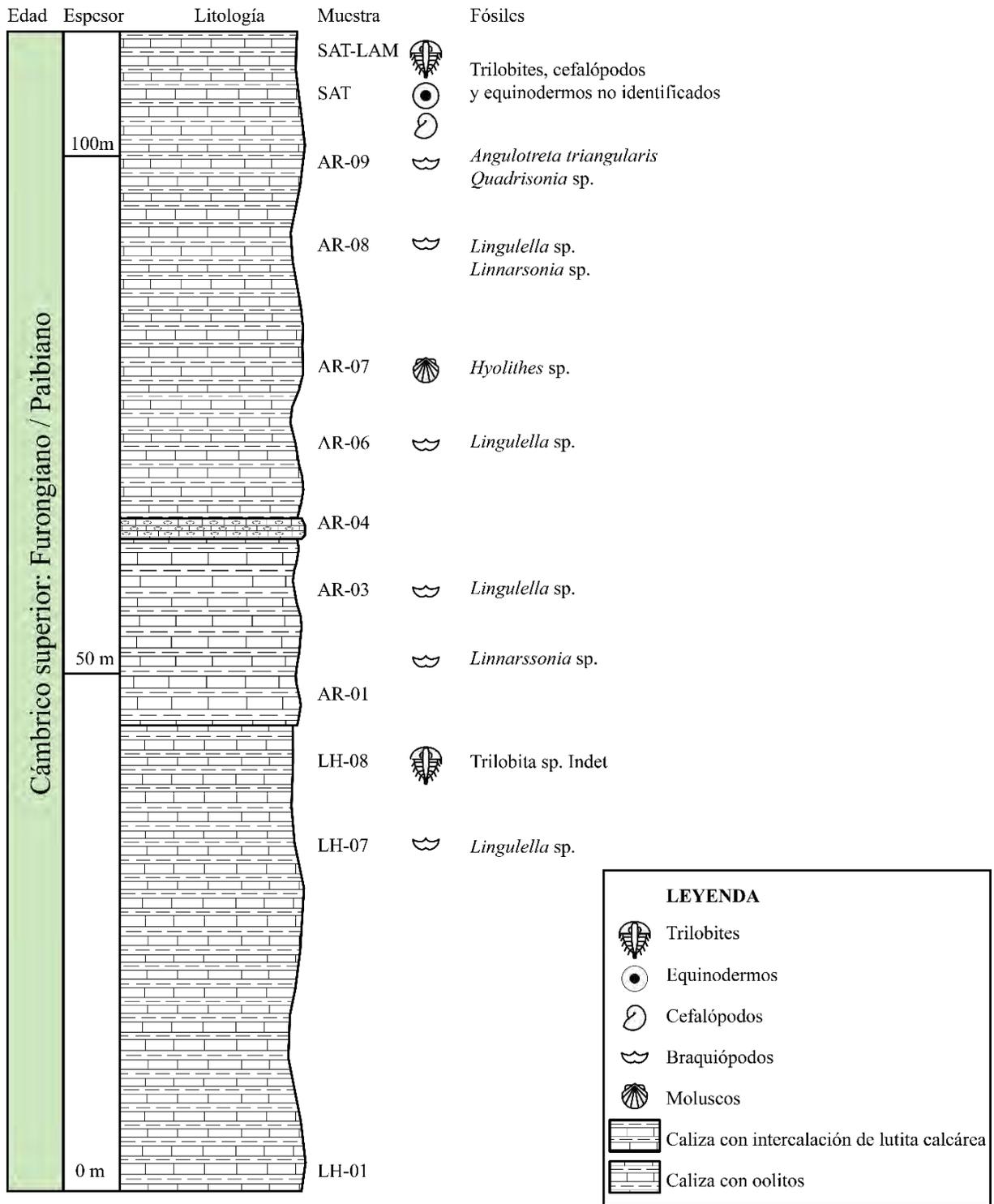


Figura 33.- Columna estratigráfica de la Formación La Huerta con la ubicación de las muestras tomadas en la sección y la presencia de fósiles.

5.5.4 FORMACIÓN MILPILLAS

Definición e historia nomenclatural de la unidad: La Formación Milpillas toma su nombre del arroyo del mismo nombre y fue definida por Almazán-Vázquez (1989).

Litología y espesor: Está constituida por horizontes de lutita calcárea muy intemperizada, de color café claro, intercalada con caliza arcillosa de color amarillo y café.

Tiene un espesor aproximadamente de 200 metros

Distribución: La Formación Milpillas constituye una colina pequeña 800 metros al sur del cerro La Sata(Fig.20).

Relaciones estratigráficas: La Formación Milpillas está en contacto estructural con la Formación la Huerta.

Sección y área tipo: La localidad tipo de la Formación Milpillas se localiza en las coordenadas 28°54'15" N y 109°16'45" W.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Almazán-Vázquez (1989) reporta la fauna de trilobites: *Aphelotoxon* sp., *Elviniella* sp., *Homagnostus* sp., *Pseudoagnostus* sp.? *Pterocephalia* sp., y ptychopariidos no identificados. También filocáridos como *Caryocaris* sp. cf. *C. curvilata*, y los braquiópodos *Angulotreta* sp., *Micromitra* sp. y *Quadrisonia* sp. Moluscos como *Pelagiella* sp., *Hyalithes* sp. e *Hypseloconus* sp. Finalmente también se encontraron los conodontos *Westergaardodina* sp. y escleritos de *Chancelloria* sp. Cuen (2013) asignó la fauna encontrada por Almazán-Vázquez (1989) a la Zona de *Elvinia* (Furongiano-Paibiano).

Ambiente de depósito: Marino somero.

5.5.4 FORMACIÓN EL SANTÍSIMO

Definición e historia nomenclatural de la unidad: fue definida por Almazán-Vázquez (1989) y toma su nombre por el cerro el Santísimo, en el área de Arivechi, Sonora-

Litología y espesor: consta de cuatro unidades litológicas (Fig. 37). La primera unidad (Fig. 34) se conforma de caliza rosa claro en superficie intemperizada, y rosa oscuro en fractura fresca, con horizontes de lutitas color rojo en ambas superficies; estos horizontes miden desde 0.2 cm a 0.8 cm; los estratos son delgados con estratificación ondulada, bien expuestos; enseguida aparece caliza rosa en ambas superficies, con abundantes intraclastos color gris, los intraclastos miden desde 0.4 cm a 10 cm de largo; suprayaciendo se encuentra limolita de grano medio color rosa en superficie intemperizada, guinda en fractura fresca, en estratos medianos y moderadamente expuestos; después se observa caliza color rosa en superficie intemperizada con abundantes bioturbaciones e intraclastos; esta unidad se repite 3 veces y mide 25 metros en total. La segunda unidad consta de caliza gris en superficie intemperizada, con intercalaciones de lutita rosa, con vetillas de calcita e intraclastos, en estratos delgados y estratificación ondulada; la unidad mide 30 metros. La tercera unidad se compone de 20 metros de brecha intraformacional con matriz arcillosa y clastos de caliza de la unidad anterior; los clastos miden desde 1 cm hasta 15 cm. La cuarta unidad se compone de 19 metros de caliza gris claro en superficie intemperizada y gris oscuro en superficie fresca con intenso vetilleo de calcita y muy fracturada, en estratos gruesos (Fig.35, Fig. 36).

En total el espesor medido de la Formación el Santísimo fue de 94 metros y tiene una actitud de NE50°SW; 45°SE.

Distribución: aflora en el cerro El Santísimo y sus inmediaciones.

Relaciones estratigráficas: está en contacto con la Formación Báucarit mediante una falla normal, no se observa el contacto con las formaciones inferiores.

Sección y área tipo: la sección se realizó en la base sureste del Cerro el Santísimo.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: gasterópodos no identificados, ostrácodos, los conodontos *Paltodus deltifer*, *Scolopodus subrex*, *Rossodus manitouensis*, *Acodus* sp. *Drepanodus* sp. y equinodermos no identificados. Los conodontos indican una edad de Ordovícico Inferior (Tremadociano).

Ambiente de depósito: Marino somero.



Figura 34.- Afloramiento de limolita calcárea rosa y laminaciones de lutita roja, con estratificación ondulada en estratos delgados. Formación El Santísimo.



Figura 36.- Caliza recristalizada con equinodermos, ostrácodos y conodontos. SN-C4 Vista 4x con Luz Polarizada.



Figura 35.- Caliza recristalizada con abundantes cristales de dolomita, se observan algunos equinodermos. SN-C1. Vista 4x con Luz Polarizada.

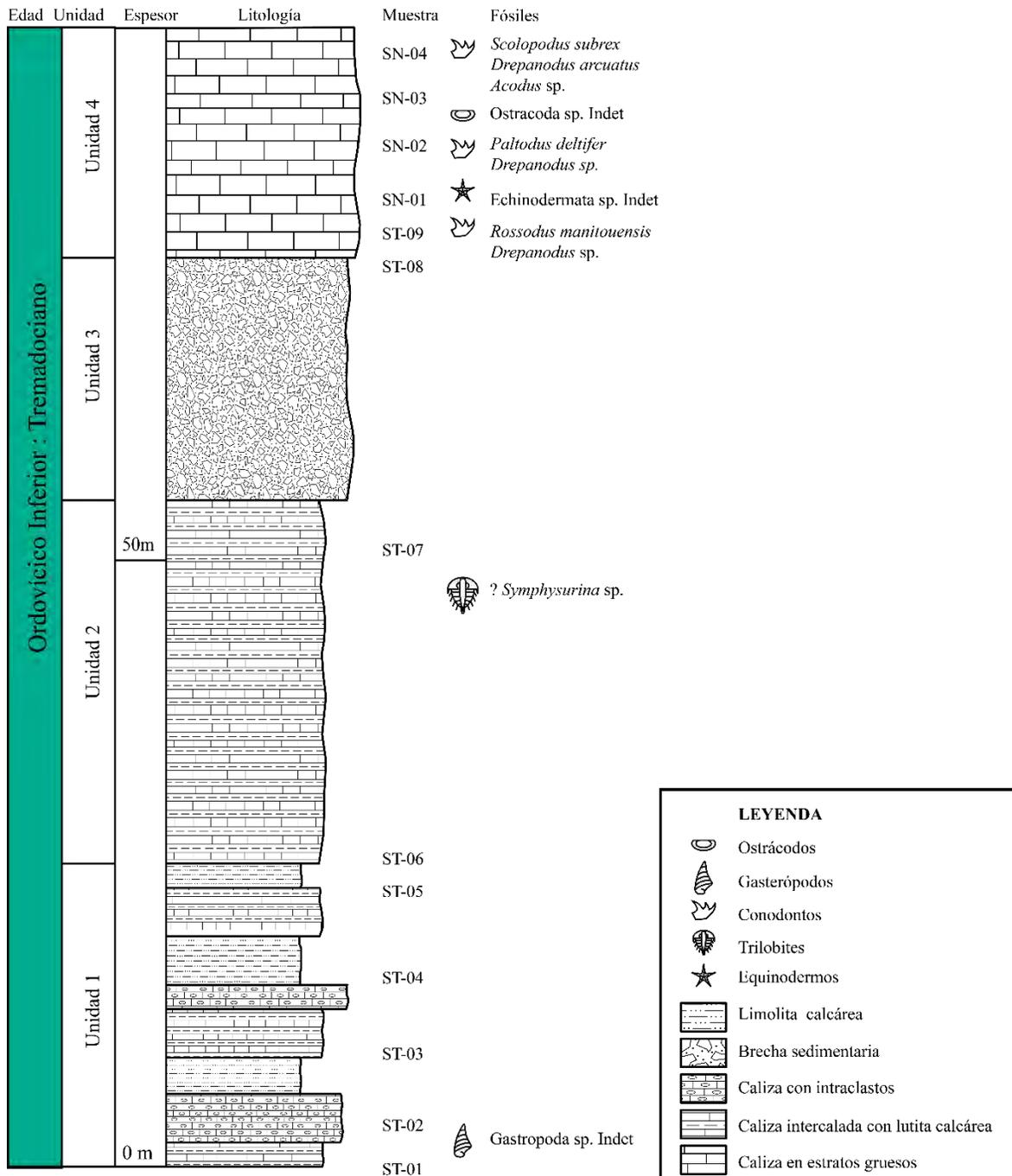


Figura 37.- Columna estratigráfica de la Formación el Santísimo con la ubicación de las muestras tomadas y los fósiles encontrados

6. BIOESTRATIGRAFÍA

En este apartado se resumen los resultados bioestratigráficos obtenidos en cuanto a la fauna estudiada, que corresponden a braquiópodos, trilobites y conodontos. Para cada unidad, se indica la fauna encontrada, la biozona a la que pertenece y la edad correspondiente. Para el establecimiento de las biozonas del Cámbrico en el presente trabajo se siguieron las propuestas de Webster (2011) y Peng *et al.*, 2012; también las establecidas por la International Commission on Stratigraphy (ICS, 2012). Para las zonaciones del Cámbrico medio, se han considerado las propuestas por Sundberg (1994); Sundberg & McCollum (2003); McCollum & Sundberg (2007). Para las zonaciones de agnóstidos se utilizaron las propuestas por Robison (1984). Para las zonaciones de conodontos del Ordovícico se siguió la propuesta de Ross *et al.* (1997). Esta biozonación sintética viene recogida en la Figura 28.

Dentro del Phylum Arthropoda, los trilobites corresponden a las faunas marinas dominantes durante el Cámbrico. Debido a que tuvieron una rápida evolución y ocuparon importantes nichos ecológicos en el ambiente marino son de gran utilidad como indicadores bioestratigráficos así como en estudios paleoecológicos. En efecto, las zonas bioestratigráficas para el Cámbrico se basan principalmente en trilobites y braquiópodos, mientras que las del Ordovícico están basadas principalmente en conodontos. Los trilobites agnóstidos se consideran pelágicos, habitaban el mar abierto y presentan rangos estratigráficos muy cortos. Por estas razones son de gran interés al hacer correlaciones globales. En el Ordovícico, los trilobites disminuyeron su diversidad en contraste a la existente durante la Explosión de inicios del Cámbrico (Robison, 1987).

Por otra parte, los braquiópodos tienen un valor relevante en bioestratigrafía del Cámbrico debido a su abundancia, diversidad y amplia distribución geográfica. La antigua clase Inarticulata representa solo el 5% de los braquiópodos que se conocen actualmente, sin embargo, esta clase fue dominante durante la radiación inicial en el Cámbrico. La diversidad de los braquiópodos inarticulados continuó incrementando durante el Ordovícico temprano, pero en el Ordovícico medio la clase Articulata se diversificó más rápidamente (Rowell & Grant, 1987).

Los conodontos son considerados una gran herramienta bioestratigráfica desde el Cámbrico superior hasta el Triásico, debido a que han sido recuperados de rocas sedimentarias marinas en todo el mundo. Los elementos conodontales del Paleozoico temprano son diferentes a los encontrados en el Paleozoico tardío y el Triásico debido a su rápida evolución (Clark, 1987). Los elementos conodontales del Cámbrico y el Ordovícico temprano son esencialmente elementos conformes es decir tienen estructuras en forma de cono con una base y una cúspide.

Es importante mencionar que los graptolitos han sido utilizados como fósiles guía para asignar edad a las rocas ordovícicas de facies de cuenca que se encuentran en Sonora como las localidades de Sierra el Aliso, La Colorada, Cerro Cobachi, entre otras.

6.1. AGUA VERDE

6.1.1 FORMACIÓN PUERTO BLANCO

En este trabajo no se encontró fauna fósil para asignar una biozona, sin embargo, esta Formación se puede correlacionar con el área de Caborca

Trilobites: en el área de Caborca McMenamin (1987), reporta la presencia de los trilobites *Nevadia ovalis* y *Judomia orbis*. También se tiene *Lochmanolenellus mexicana* Lieberman, 1998 (= *Wanneria mexicana prima* Lochman in Cooper et al., 1952; *Wanneria mexicana* Lochman in Cooper et al., 1952; *Laudonia mexicana* Lochman in Cooper et al., 1952), *Olenellus* sp., *O. puertoblancoensis* Lochman in Cooper et al., 1952; *Mesonacis fremonti* (= *Olenellus fremonti* Walcott), *Elliptocephala walcotti* Lieberman, 1998 (= *Olenellus truemani* Lochman in Cooper et al., 1952)(Cuen,2013), entre otros.

Fauna asociada: se encontraron restos de *Lingulella* sp. y braquiópodos no identificados.

Biozona: Según Hollingsworth (2011) se encuentran las zonas de *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria*.. Zona de *Nevadella* (Mc Menamin,1987).

Edad: Serie 2 (Piso 3).

Serie y piso regional(Laurentia): Waucobiano (Montezumano).

6.1.2 FORMACIÓN PROVEEDORA

En el presente trabajo no se encontraron fósiles indicadores de edad, sin embargo, Stewart et al. 1999 reportan *Olenellus gilberti* (syn. = *Bristolia bristolensis*) en la parte superior de la formación.

Trilobite: *Bristolia bristolensis*

Fauna Asociada: *Skolithos* isp.

Biozona: Zona de *Bristolia mohavensis* y Zona de *B. insolensis*.

Edad: Serie 2, piso 4.

Serie y piso regional(Laurentia): Waucobano-Dyerano.

6.1.3 FORMACIÓN EL BOQUINETE

Unidad 1

Conodontos: Stewart et al. (1999): *Cordylodus caboti*, *Cordylodus lindstromi*, ?*Eoconodontus notchpeakensis*, *Rossodus manitouensis*, *Drepanodus arcuatus*, *Protopanderodus leei*; este trabajo: *Scolopodus subrex*.

Fauna asociada: braquiópodos no identificados.

Biozona: Zona de *Iapetognathus* hasta la Zona de *Macerodus diana*.

Edad: Ordovícico Inferior (Tremadociano).

Serie y piso regional (Laurentia): Ibexiano, Skullrockiano-Stairsiano.

Comentarios: en este trabajo de tesis se encontró el conodonto *Scolopodus subrex* el cual es índice de la Zona de *Scolopodus subrex*, propuesta por Pyle et al. (2002) para sustituir la Zona de *Macerodus diana* y la parte inferior de la Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus*. Debido a la presencia de este elemento es posible confirmar la Zona de *Macerodus diana* identificada por Stewart et al. (1999) en esta unidad. Es importante resaltar el reporte de conodontos realizado por Stewart et al. (1999) debido a que reportaron las especies *Cordylodus caboti*, *Cordylodus lindstromi*, ?*Eoconodontus notchpeakensis*, las cuales son especies que aparecieron cerca del límite Cámbrico-Ordovícico.

La especie *Eoconodontus notchpeakensis* tiene un rango desde la Zona de *Eoconodontus* hasta la Zona de *Iapetognathus*; *Cordylodus lindstromi* es una especie con la que Miller (1988) definió la Zona *Cordylodus lindstromi*, sin embargo, Ross et al. (1997) la incluyó dentro de la Zona de *Cordylodus proavus*, y reconoce esta especie dentro de la Zona de *Iapetognathus*. Pyle & Barnes (2002) comentan que esta especie es indicativa de las zonas *Iapetognathus* hasta *Rossodus manitouensis*. Debido a esta discusión, en este trabajo se realiza un ajuste a las biozonas propuestas por Stewart et al. (1999) con base a los conodontos encontrados y se asigna a la Zona de *Iapetognathus* para la parte inferior de la Unidad 1 de la Formación el Boquinete. La Zona de *Iapetognathus* define el límite Cámbrico-Ordovícico.

Unidad 2

En este trabajo no se recuperaron elementos conodontales de la unidad 2 de la Formación el Boquinete. Sin embargo, Stewart *et al.*, (1999) recuperó lo siguiente:

Conodontos: *Histiodela donae*, *Protopanderodus leei*, *Scolopodus bolites*, *Macerodus diana*, *Acodus deltatus*, *Oepikodus communis*, *Chionoconus avanga*, *Reutterodus andinus*, *Tropodus australis*, *Jumudontus gananda*.

Fauna asociada: algas, braquiópodos y equinodermos.

Biozona: Zona de *Macerodus diana*, Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus*, Zona de *Oepikodus communis*, Zona de *Reutterodus andinus*.

Edad: Ordovícico Inferior (Tremadociano-Floiano).

Serie y piso regional (Laurencia): Ibexiano (Stairsiano-Tuleano-Blackhillsiano).

Comentarios: la Zona de *Macerodus diana* fue propuesta por Ross *et al.* (1997) y sobreyace al “Low Diversity Interval” y es sobreyacida por la Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus*. La Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus* fue propuesta por Ross *et al.*, (1997), y es definida con la primera aparición (FAD) de *Acodus deltatus* hasta el nivel de FAD de *Paroistodus proteus*. Esta zona sobreyace a la Zona de *Macerodus diana* y es sobreyacida por la Zona de *Oepikodus communis*.

La Zona de *Oepikodus communis* es ampliamente reconocida en Norte América y fue establecida por Repetski & Ethington (1983). La base de la zona es definida en el nivel con la primera aparición (FAD) de *Oepikodus communis* hasta la FAD de *Reutterodus andinus*. Debajo está la Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus* y sobreyaciendo está la Zona de *Reutterodus andinus*. La Zona de *Reutterodus andinus* fue propuesta por Ross *et al.* (1997), y se define con la primera aparición (FAD) de *R. andinus*, sobreyace a la zona de *Oepikodus communis* y es sobreyacida por la Zona de *Tripodus laevis*.

6.2. ARIVECHI

6.2.1 FORMACIÓN LA SATA

En este trabajo no se encontró fauna fósil para corroborar los datos de Almazán-Vázquez (1989).

Fauna: Almazán-Vázquez (1989) reportó los trilobites *Amecephalus* sp. y *Fieldaspis* sp., con los moluscos *Hyolithes* sp. y *Scenella* sp.

Biozona: con la fauna descrita por Almazán-Vázquez (1989), Cuen (2013) asignó una edad perteneciente a la Zona de *Poliella denticulata*.

Edad: Serie 3, Piso 5.

Serie y piso regional (Laurencia): Lincolniano (Delamarano).

Comentarios: la Zona de *Poliella denticulata* sobreyace a la Zona de *Amecephalus arrosensis* y es sobreyacida por la Zona de *Mexicella mexicana*. La Zona de *Poliella denticulata* se define en la primera aparición (FAD) de esta especie, en una sección tipo en Pioche Shale, Nevada (Sundberg & McCollum, 2003).

6.2.2 FORMACIÓN EL MOGALLÓN

Esta formación se dividió en 4 unidades y se describen 2 debido que presentan fauna de poríferos, braquiópodos, trilobites, entre otros.

Unidad 2

Trilobites: *Ptychoagnostus atavus*, *Ogygopsis typicalis*.

Fauna asociada: Poríferos: *Valospongia sonorensis*; Braquiópodos: *Lingulella* sp., *Dictyonina* sp.

Biozona: Zona de *Ptychoagnostus atavus*.

Edad: Serie 3 (Drumiano).

Serie y piso regional (Laurencia): Lincolniano medio (Marjumano).

Comentarios: La zona de *Ptychagnostus atavus* se define en la primera aparición (FAD) de la misma especie, esta zona sobreyace a la Zona de *Ptychagnostus gibbus* y es sobreyacida por la Zona de *Ptychagnostus punctuosus*.

La base del Piso Drumiano contiene la primera aparición de *Ptychagnostus atavus*, ubicado 62 metros arriba de la base de la Formación Wheeler en las montañas Drum, Utah (Babcock *et al.*, 2007).

Ptychagnostus atavus ha sido identificado en rocas del Cámbrico a nivel global y se ha utilizado en los depósitos de Báltica, Gondwana, Kazakhastania y Laurencia. La posición de *Ptychagnostus atavus* también coincide con la base de la Zona de *Bolaspidella* la cual está definida por trilobites poliméridos.

Unidad 3

Trilobites: *Ptychagnostus atavus*, *Ogygopsis typicalis*, *?Oryctocephalus* sp., *Modocia typicalis*.

Fauna asociada: Poríferos: *Ratcliffespongia arivechensis*, *Valospongia sonorensis*, *Choia* sp., *Diagoniella* sp.; Braquiópodo: *Acrothele concava*.

Biozona: Zona de *Ptychoagnostus atavus*.

Edad: Serie 3 (Drumiano).

Serie y piso regional (Laurencia): Lincolniano medio (Marjumano).

Comentarios: como ya se comentó anteriormente, la zona de *Ptychagnostus atavus* está definida en la primera aparición de esta especie. En esta unidad, la presencia de *Ptychagnostus atavus* es indicativa de esta biozona.

6.2.3 FORMACIÓN LA HUERTA

Esta unidad presenta la siguiente fauna:

Braquiópodos: *Angulotreta triangularis*, *Lingulella* sp., *Linnarsonia* sp., *Quadrisonia* sp.

Fauna asociada: cefalópodos, ostrácodos, trilobites y equinodermos no identificados.

Biozona: Zona de *Aphelaspis*.

Edad: Furongiano (Paibiano).

Serie y piso regional (Laurencia): Millardano (Steptoeano).

Comentarios: La Zona de *Aphelaspis* sobreyace a la zona de *Crepicephalus* y es sobreyaciada por la zona de *Dunderbergia* (Webster, 2011). La zona de *Aphelaspis* es bioestratigráficamente equivalente a la primera aparición (FAD) del trilobite agnóstico *Glyptagnostus reticulatus*, correspondiendo a la base del piso Steptoeano definido en el Valle Steptoe, Nevada por Ludvigsen & Westrop (1985).

La parte superior de la Caliza Abrigo en la Sierra los Ajos, Sonora, contiene trilobites de la Zona de *Aphelaspis* (Page *et al.*, 2003). También se ha documentado la Zona de *Aphelaspis* en la Formación Conasauga al Norte de Georgia, E.U.A., con los siguientes trilobites: *Glyptagnostus reticulatus*, *Agnostus inexpectans* y *Aspidagnostus rugosus* (Schwimmer & Montante, 2012)

6.2.4 FORMACIÓN EL SANTÍSIMO

Esta formación presenta la siguiente fauna:

Conodontos: Muestra Sn-C2: *Rossodus manitouensis*, *Protopanderodus* sp. *Paltodus deltifer*, *Protopanderodus* sp. Muestra Sn-C3: *Scolopodus* sp., *Drepanodus* sp. Muestra Sn-C4: *Scolopodus subrex*, *Acodus* sp., *Drepanodus arcuatus*, *Protopanderodus* sp.

Fauna asociada: ostrácodos y equinodermos no identificados.

Biozona: Zona de *Rossodus manitouensis*, hasta la Zona de *Macerodus diana*.

Edad: Tremadociano superior – Floiano.

Comentarios: en la muestra Sn-C2 se recolectaron varios especímenes de *Rossodus manitouensis* el cual es índice de la zona con el mismo nombre. El conodonto *Scolopodus subrex* es indicativo de la zona de *Scolopodus subrex* que propuso Pyle *et al.* (2002). Esta zona es similar a las zonas de *Macerodus diana* y a la parte inferior de la Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus*, por este motivo en este trabajo se asigna a la Zona de *Macerodus diana*.

La Zona de *Rossodus manitouensis* sobreyace a la Zona de *Cordylodus angulatus* y es sobreyacida por una zona informal llamada Lower Diversity Interval. Por encima de esta biozona se encuentra la Zona de *Macerodus diana*. La Zona de *Rossodus manitouensis* se define en la primera aparición (FAD) de la especie con el mismo nombre. Esta zona fue descrita por Landing *et al.* (1986).

La zona informal llamada Lower Diversity Interval fue propuesta por Ethington & Clark (1982) debido a que en este intervalo hay menos diversidad y abundancia de conodontos. La zona coincide con la desaparición de *Rossodus manitouensis* y finaliza con la primera aparición de *Scolopodus subrex* (Pyle & Barnes, 2002). La zona de *Macerodus diana* fue propuesta por Ross *et al.* (1997), sobreyace al Lower Diversity Interval y es sobreyacida por la Zona de *Acodus deltatus/Oneotodus costatus*.

6.2.5 FORMACIÓN MILPILLAS

En este trabajo de tesis no se recolectó fauna fósil de esta formación. Sin embargo, Almazán-Vázquez (1989) reporta lo siguiente:

Trilobites: ?*Aphelotoxon* sp., *Elviniella* (*Elvinia*) sp., *Homoagnostus* sp., *Pseudoagnostus* sp., *Pterocephalia* sp.

Fauna asociada: Crustáceo: *Caryocaris* sp. cf. *C. curvilata*; Braquiópodos: *Angulotreta* sp., *Micromitra* sp., *Quadrisonia* sp., *Pelagiella* sp., *Hypseloconus* sp., Paraconodonto: *Westergaardodina* sp.; Incertae sedis: *Chancelloria* sp.; Eocrinoides: ?*Stylophorans* sp.; Lofoforados: *Hyolithes* sp.

Biozona: Zona de *Elvinia*.

Edad: Furongiano (Paibiano).

Serie y piso regional (Laurencia): Millardano (Steptoeano).

Comentarios: la zona de *Elvinia* sobreyace a la zona de *Dunderbergia* y es sobreyacida por la zona de *Taenicephalus*.

Global Serie / Piso			Laurentia Serie / Piso	Zonas de Trilobites	Conodontos y trilobites (plataforma abierta)	Arivechi	Sierra Agua Verde				
ORDOVÍCICO (Parte)	Inferior (Parte)	Floiano (Parte)	Ibexiano	Blackhillsiano	<i>Pseudocybele nasuta</i> <i>Pseudocybele paranosuta</i> <i>Pseudomilera beccarii</i> <i>Corallinites nevadensis</i> <i>Sirigigenalis pilotabeona</i>	<i>Reutterodus andinus</i>	Fm. El Boquicete				
				Tulcano	<i>Protoplomerella contracta</i> <i>Hintzia celsaora</i> <i>Psalkilus spinosum</i> <i>Leicurus stuarti</i>	<i>Acodus deltatus</i> / <i>Oncotodus costatus</i>					
		Tremadociano		Stairsiano	<i>Rossaspis supercilliosa</i> <i>Tesselacauda</i> <i>Leiostrigium</i> <i>Parapithepitis</i>	<i>Macerodus diana</i> <i>Low-diversity interval</i>		Fm. El Santísimo			
		Skullrockiano		<i>Bellefontia</i> <i>Symphysurina woosteri</i>	<i>Rossodus manitouensis</i>						
				<i>Symphysurina</i> <i>Symphysurina bulbosa</i>	<i>Cordylodus angulatus</i> <i>Lapetogeninus</i>						
	<i>Symphysurina brevispicata</i>			<i>Cervidhamulus hintzia</i> <i>Hirsutodontus simplex</i> <i>Cyvolhamulus elongatus</i> <i>Cordylodus</i> <i>Hirsutodontus inornatus</i> <i>proavus</i> <i>Hirsutodontus hirsutus</i>							
	CÁMBRICO	Furongiano		Piso 10	Millardiano	<i>Parakoldinioidia stitti</i> <i>Parakoldinioidia depressa</i> <i>Eureka apopsis</i>		<i>Cordylodus</i> <i>Proavus</i>	Fm. Milpillas		
				Jiangshaniano		<i>Saukia</i> <i>Saukiella serotina</i> <i>Saukiella junia</i> <i>Saukiella pyrene - Rasetta magna</i> <i>Ptychaspis - Ellipsocephaloides</i> <i>Prosaukia</i> <i>Idahoia</i> <i>Taenicephalus</i> <i>L. shumardi</i> <i>Parabulimoides</i> <i>Trysocella milar</i> <i>Cliffia lataeanae</i> <i>Pseudosaratogia maena</i>		<i>Eoconodontus</i> <i>Cambrovoxiolus minutus</i> <i>Eoconodontus nonchaperianus</i> <i>Proconodontus muelleri</i> <i>Proconodontus postercostatus</i>			
				Paibiano		Steptoeano		<i>Dunderbergia</i> <i>Prehousia</i> <i>Dicanthopyge</i> <i>Aphelaspis</i> Sin nombre <i>Coosella perplexa</i>		<i>Glyptagnostus reticulatus</i> <i>Glyptagnostus stolidatus</i> <i>(Linguagnostus reconditus)</i> <i>(Agnostus pisiformis)</i> <i>Lejopyge laevigata</i> <i>(Goniagnostus nathorsti)</i> <i>Ptychagnostus punctuosus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>	Fm. La Huerta
				Serie 3		Guzhangiano		Marjumano		<i>Crepicephalus</i> <i>Cedarina / Cedarina dakotaensis</i> <i>Bolaspidella</i>	
Drumiano			Topazano			<i>Ehmaniella</i> <i>Altiocetus</i> <i>Ehmaniella</i> <i>Ehmaniella</i> <i>Proehmaniella</i>	<i>Ptychagnostus gibbus</i>				
Serie 2		Piso 5	Lincolniense	Delamarano		<i>Glossopeteura walcolti</i> <i>Albertella highlandensis</i> <i>Mexicella mexicana</i> Sin nombre <i>Albertella aspinosa</i> <i>Pohella denticulata</i> <i>Amecephalus arroyosensis</i> <i>Fokochaspis nodosa</i> <i>Nephrilellus millardius</i> <i>Halbolenellus euryurus</i> <i>Pezochella iddipesi</i> <i>Bristolia insolens</i> <i>Bristolia puericensis</i> <i>Arctuleneilus arcuatus</i>	<i>Oryctocephalus indicus</i>	Fm. La Sata			
				Piso 4		Dyerano	No definido				
		Piso 3		Montezumano		<i>Nevadella eucharis</i> <i>Nevadella addvensis</i> No definido <i>Avefallotaspis maria</i> <i>Cephalaspis variabilis</i> <i>Esmeraldina raveri</i> "Fallotaspis" <i>Fritzaspis</i>		Fm. Provedora			
		Piso 2		Begadeano							
		Fortuniano					Pre - trilobite			Fm. Puerto Blanco	

Figura 38.- Biozonas del Cámbrico y Ordovícico Inferior. Modificada de Cuen (2013) y Webster (2014) para el Cámbrico. Y Ross et al. (1997)

7. PALEOGEOGRAFÍA

Durante el Proterozoico existió un supercontinente llamado Rodinia, rodeado del gran Océano Mirovoi (Cawood & Pisarevsky, 2017). Rodinia se formó a final del Mesoproterozoico y principio del Neoproterozoico por amalgamación de fragmentos continentales arqueanos y proterozoicos (Li *et al.*, 2008), los cuales están documentados principalmente en la orogenia Grenvilliana ubicada al este de Norte América (Cawood & Pisarevsky, 2017). Rodinia estaba formado por los bloques de India, Arabia Saudita, Sahara, Congo-San Francisco, Amazonia, oeste de África, Báltica, Laurentia, Kalahari, sur y norte de China, este de Antártica, Australia, Tarim, Siberia y Rio de la Plata (Li *et al.*, 2008).

La fragmentación del supercontinente Rodinia comenzó con la ruptura de piezas continentales alrededor de Laurentia (Hoffman, 1991). Como consecuencia, a principios del Cámbrico, se formó el supercontinente Gondwana (Sudamérica, África, Arabia, India, Antártica, Australia) con la clausura del Océano Mozambique y quedaron dispersas las masas continentales de Laurentia, Siberia, Báltica, Norte de China y Sur de China (Li *et al.*, 2008).

Laurentia comprendía lo que hoy es Norte América y Groenlandia. En el Cámbrico, Laurentia estuvo alineada aproximadamente este–oeste a 30° sur y existía un margen pasivo desde México hasta Alaska donde se depositaron facies de aguas someras. Durante el Ordovícico Laurentia se mantuvo extendida a lo largo del Ecuador por todo el período y el cratón fue inundado numerosas veces por los mares epéiricos (Cocks y Torsvik, 2011).

Durante el Cámbrico temprano ocurrió una gran transgresión llamada transgresión Sauk. Como resultado, los mares epéiricos inundaron Laurentia y dejó al descubierto una porción de los escudos de Canadá y Groenlandia y una serie de islas llamada Arco Transcontinental ubicados en el suroeste de Laurentia. En la actualidad, aparece en los estados de Arizona, Texas, Nuevo México, Colorado, Nebraska, Minnesota y la región de los grandes lagos en Estados Unidos. Esta transgresión está registrada en la Secuencia Sauk (Sloss *et al.*, 1949), la cual finalizó en el Ordovícico temprano.

Stewart *et al.* (1989) confirieron a los afloramientos del Cámbrico de Caborca como parte de la Cordillera Miogeoclinal, una secuencia sedimentaria y tectónica desarrollada como resultado de un rifting a finales del Proterozoico en el margen suroeste de Norte América (Stewart, 1976).

Las rocas del Cámbrico-Ordovícico que afloran en el estado de Sonora se han dividido tradicionalmente en tres cinturones de facies: plataforma cratónica, plataforma carbonatada y cuenca oceánica. Page *et al.* (2012) menciona que, en el Cámbrico inferior, las facies de plataforma carbonatada consisten de caliza, arenisca de cuarzo y limolita; en el Cámbrico medio consisten de caliza, dolomía y limolita; en el Cámbrico superior consisten de limolita y caliza.

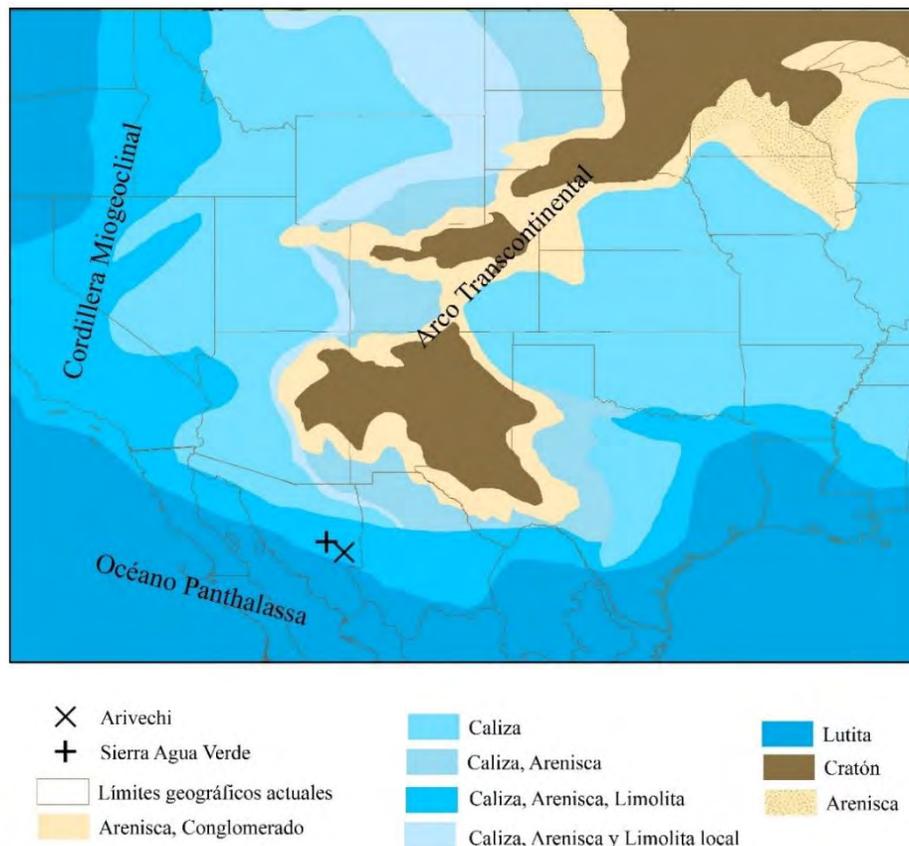


Figura 39.- Mapa Paleogeográfico del Cámbrico medio a tardío. Modificado de Deep Time Maps.

Estos autores también reconocen que las rocas de la sierra Agua Verde se depositaron en la plataforma interior debido a su gran contenido de material clástico; los afloramientos se ubican principalmente en el noroeste y centro de Sonora. Finalmente, las facies de plataforma cratónica durante el Cámbrico se reflejan en la Cuarcita Bolsa, del Cámbrico

medio, y la Caliza Abrigo, del Cámbrico medio y superior (Page et al. 2012). Estos afloramientos se encuentran en el noreste de Sonora.

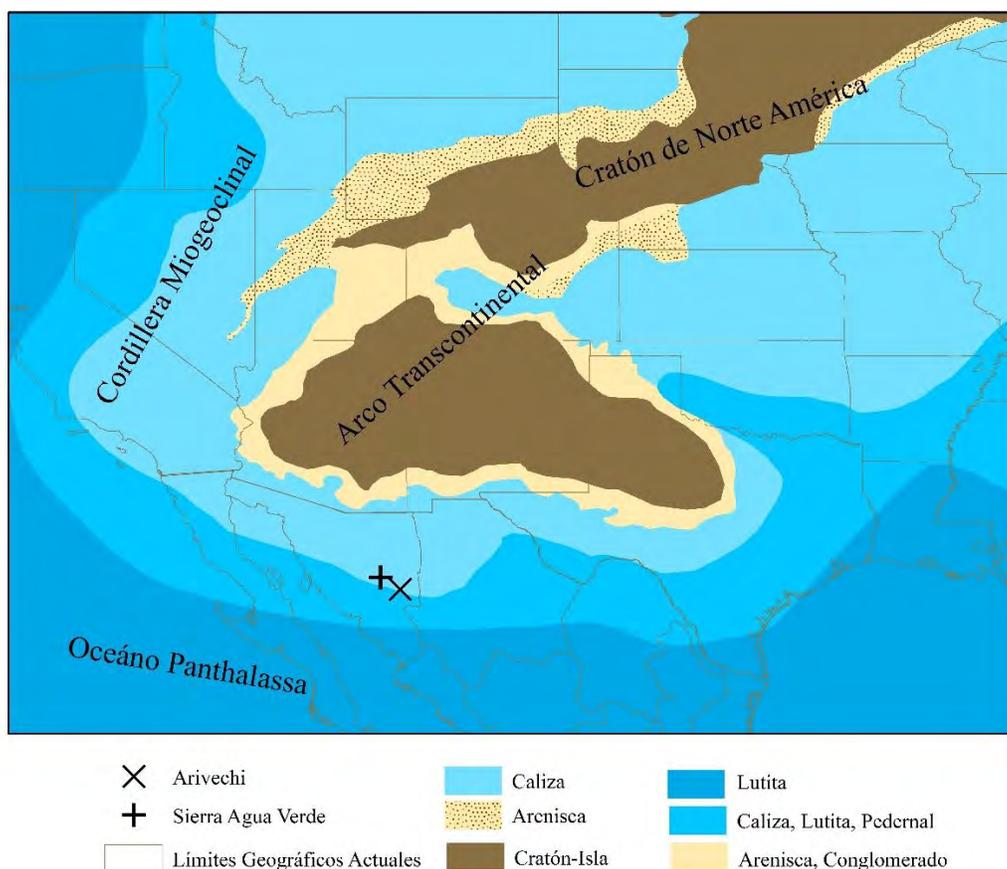


Figura 40.- Mapa Paleogeográfico del Ordovícico Inferior-Medio. Modificado de Deep Time Maps y de Vachard et al. (2017)

Los depósitos del Ordovícico fueron clasificados en tres cinturones de facies por Poole *et al.* (1995a; 1995b), tales son Plataforma Cratónica, Plataforma Carbonatada y Cuenca Oceánica. Los depósitos de plataforma carbonatada del Ordovícico Inferior se caracterizan por caliza intraclástica, limolita, lutita y pedernal; los del Ordovícico Medio se constituyen de caliza arenosa y arenisca de cuarzo; los depósitos del Ordovícico Superior se componen de caliza con pedernal y caliza arcillosa (Page *et al.*, 2012). Las rocas de plataforma cratónica del Ordovícico en Sonora se componen de afloramientos dispersos de caliza en el noreste de Sonora (Poole *et al.*, 1995a). Los depósitos del Ordovícico de cuenca oceánica están constituidos mayormente por lutita negra, argilitas, pedernal y cuarcita que aparecen principalmente en el centro de Sonora (Poole et al., 1995b).

8. PALEOECOLOGÍA

El Cámbrico se caracteriza por la aparición de metazoos con esqueletos mineralizados, sumado a una rápida diversificación de estos, los cuales formaron los primeros ecosistemas marinos, a este evento se le conoce como la “Explosión Cámbrica”; este evento se desarrolló en tres fases, la primera fase aconteció a finales del Sistema Ediacarano con la primera aparición un phyla de metazoos basales, la segunda fase ocurrió en la Serie Terreneuviana con la ocurrencia de linajes de metazoos basales calcificados y el grupo Lophotrochoa; el mayor episodio de la explosión del Cámbrico ocurrió durante el Piso 3 cuando todos los phyla de deuterostomados aparecieron, sumando así 26 phyla, 20 de ellos aún viven y 6 están extintos (Zhan y Shu, 2013); la mayoría de estos phyla están representados por solo un género y especies en el Cámbrico temprano, esto indica que los ecosistemas eran bajos en diversidad (Zhan y Liu, 2010). La explosión del Cámbrico es resultado de factores bióticos, así como evolutivos, genéticos y ecológicos, así como ambientales (Smith y Harper, 2013).

El Ordovícico se caracteriza por una rápida y sustancial diversificación biótica que alcanza los más altos niveles durante la Era Paleozoica; esto se conoce como la Gran Radiación del Ordovícico la cual se distinguió mayormente por el rápido incremento de taxones de bajos rangos particularmente de familias y géneros, mientras que en la Explosión del Cámbrico aparecieron numerosos Phylas y Clases (Zhan y Liu, 2010); el número de familias incremento cuatro veces a finales del Ordovícico (Miller, 2003), esto nos indica un aumento en diversidad en los ecosistemas.

Las esponjas son un grupo monofilético caracterizado por células coanoflageladas originadas en el Proterozoico, las primeras espículas aisladas pertenecen a hexactinélidos del Tommotiano (Piso 2:529-521Ma) de Siberia (Fedorov y Pereladov, 1987). Durante el Cámbrico inferior y medio las esponjas dominantes en las aguas profundas eran las esponjas hexactinélidas en el cual se incluyen a las especies reportadas en Arivechi: *Ratcliffespongia arivechensis*, *Valospongia sonorensis*. Eran organismos epifaunales, es decir vivían sobre el sedimento y se alimentaban por filtración.

Durante la revolución del Cámbrico los braquiópodos inarticulados dominaron (Rowell, 1987), en el Cámbrico de la Sierra Agua Verde se tienen los braquiópodos *Lingulella* sp.,

Angulotreta sp. y algunos fragmentos de braquiópodos quitinosos, en los afloramientos de Arivechi, los braquiópodos son muy abundantes en la Formación la Huerta y en menor cantidad en la Formación el Mogallón, los braquiópodos inarticulados que vivían durante el Cámbrico medio y superior en Arivechi y Sierra Agua Verde eran organismos epifaunales estacionarios excepto *Lingulella* sp., la cual era facultalmente móvil.

Los trilobites corresponden a las faunas marinas dominantes durante el Cámbrico. Debido a que tuvieron una rápida evolución y ocuparon importantes nichos ecológicos en el ambiente marino, eran organismos carroñeros. Las especies de trilobites *Ptychagnostus atavus* y *Amecephalus arrojensis* eran organismos epifaunales con movimiento rápido, es decir vivían sobre el sedimento, por otra parte, *Ogygopsis typicalis* era nectobentónico, nadaba sobre el fondo marino.

Las faunas de conodontos son cosmopolitas desde su origen en el Cámbrico hasta inicios del Ordovícico y fueron pelágicos durante el Cámbrico medio y a partir del Cámbrico tardío vivieron en ambientes marinos con un amplio rango de paleolatitudes (Miller, 1984). Existen dos provincias “Mid-Continent Realm” en la cual los conodontos están adaptados a aguas cálidas y más salinas y “Atlantic Realm” controlada por aguas frías y salinidad normal (Pohler & Barnes, 1990), los géneros de conodontos encontrados en las áreas de estudio corresponden a la Provincia “Mid-Continent Realm”

9. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Phylum Porifera Grant, 1836

Clase Demospongea Solas, 1875

Orden Protomonaxonida Finks and Rigby, 2004^a

Familia Choiidae de Laubenfels, 1955

Género *Choia* Walcott, 1920

?*Choia carteri* Walcott, 1920

Lámina 1, figs. 2 y 3

2010 *Choia carteri* Rigby *et al.*, pag.71 fig. 4.1-4.2

Ocurrencia: Moderada. Formación El Mogallón. Unidad 3.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: Reportada por primera vez en el Cámbrico medio de México. La especie se encuentra en las formaciones Wheeler y Marjum en House Range del Cámbrico medio al oeste de Utah (Walcott, 1920), en la Zona de *Bolaspidella*.

Clase Hexactinellida Schmidt, 1870

Orden Reticulosa Reid, 1958

Familia Protospongiidae Hinde, 1887

Género *Diagoniella* Rauff, 1894

?*Diagoniella cyathiformis* (Dawson and Hinde, 1889)

Diagoniella sp.

Lámina 1, Fig. 4 y 5

2005 *Diagoniella cyathiformis* Xiao *et al.*, Pag. 97 Fig 3. E-F

Ocurrencia: Moderada. Formación El Mogallón. Unidad 3.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: Se ha reportado en la Formación Hetang del Cámbrico inferior en la provincia de Anhui, China (Xiao *et al.*, 2005).

Familia Hydnodictyidae Rigby, 1971

Género *Valospongia* Rigby 1971

Valospongia sonorensis Beresi, 2017 (*en prensa*)

Lámina 1, fig. 1

Ocurrencia: Moderada. Formación El Mogallón. Unidad 3.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*

Comentarios: Se reporta por primera vez en México en la Formación El Mogallón, Zona de *Ptychagnostus atavus*. (Beresi, 2017 *en prensa*)

Familia Hintzespongiidae

Género *Ratcliffespongia* Rigby, 1969

Ratcliffespongia arivechensis Beresi, 2017 (*en prensa*)

Ocurrencia: Moderada. Formación El Mogallón unidad 3.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus* (Beresi *en prensa*)

Comentarios: Se reporta por primera vez en México en la Formación El Mogallón, Zona de *Ptychagnostus atavus*.

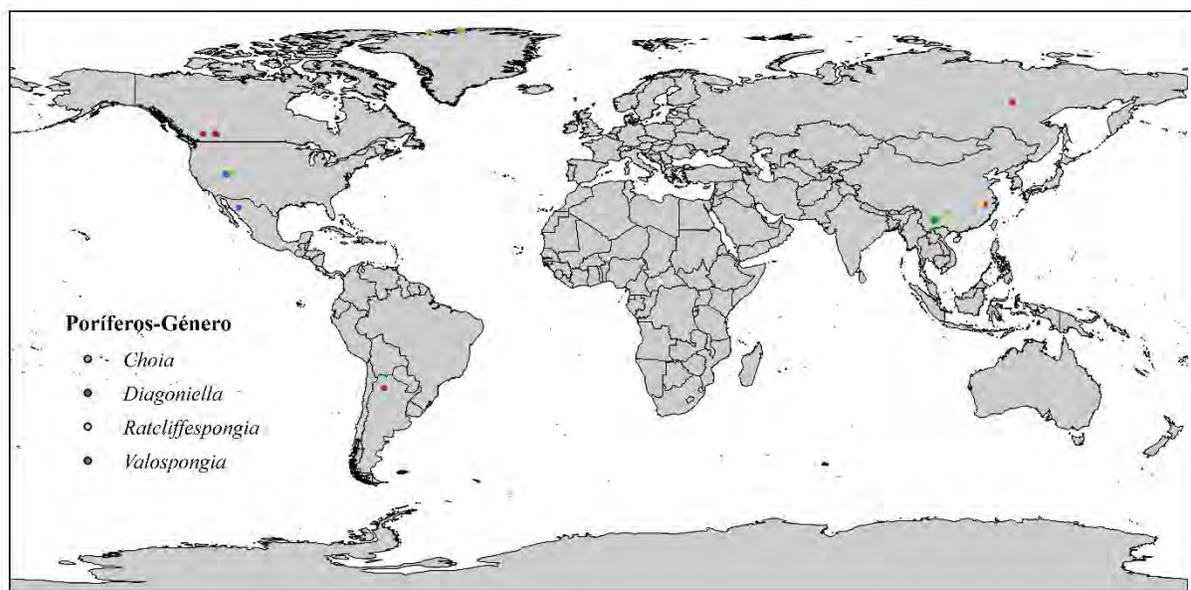


Figura 41.- Distribución mundial de los géneros de poríferos encontradas en el Cámbrico de Arivechi. Elaborado con información de la página *The Paleobiology Database* <https://paleobiodb.org/#/>

Phylum Brachiopoda Duméril, 1806
Clase Lingulata Gorjansky & Popov, 1985
Orden Lingulida Waagen, 1885
Familia Obolidae King, 1846
Subfamilia Obolinae King, 1846
Género *Lingulella* Salter, 1866
Lingulella sp.
Lámina 4, figs. 1, 2 y 3

2013 *Lingulella* sp. Cuen Fig. 20

Ocurrencia: Abundante. Formación El Mogallón.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*, Formación La Huerta, Zona de *Aphelaspis*.

Comentarios: En el estado de Sonora se localiza en Caborca en la Formación Proveedora (Stewart *et al.*, 1984) y en la Formación El Gavilán, en la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis* (Cuen *et al.*, 2016). En la Formación Wheeler, Utah, en la Zona de *Bolaspidella* (Robinson, 1971) y en la Formación Notchpeak, Utah (Popov *et al.*, 2002), Formación Poleta, en California, en la Zona de *Nevadella* (Firby & Dunham, 1974).

Orden Acrotretida Kuhn, 1949
Familia Acrothelidae Walcott & Schuchert, 1908
Subfamilia Acrothelinae Walcott & Schuchert, 1908
Género *Acrothele* Linnarsson, 1876
Acrothele concava Cooper, 1952
Acrothele sp.
Lámina 3, fig. 4

2013 *Acrothele* sp. Cuen. Fig.20

Ocurrencia: Escasa. Formación El Mogallón. Unidad 2 y 3.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: se reporta en la Formación Arrojos, Caborca, Sonora y en la Formación El Gavilán, Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis* (Cuen *et al.*, 2016).

Familia Acrotretidae Schuchert, 1893

Género *Angulotreta* Palmer, 1954

Angulotreta triangularis Palmer, 1954

1954 *Angulotreta triangularis* Palmer Pag.769, Plate 91, Fig. 1-9

Ocurrencia: Abundante. Formación la Huerta

Edad: Zona de *Aphelaspis*.

Comentarios: se encuentra en la Formación Riley, Texas, en la zona de *Aphelaspis* (Palmer, 1954). También se encuentra en la Formación Lower Deadwood en Dakota del Sur con los trilobites *Aphelaspis haguei*, *Homagnostus obesus*, *Cheilocephalus brevilobus* y el braquiópodo *Dictyonina perforata* (Stitt & Perfetta, 2000).

Género *Linnarssonina* Walcott, 1885

Linnarssonina sp.

Lámina 5, figs. 1, 2 y 5

2000 *Linnarssonina ophirensis* Williams *et al.* Pag.115, Fig.58 2a-g.

Ocurrencia: Abundante. Formación La Huerta.

Edad: Zona de *Aphelaspis*.

Comentarios: en el estado de Sonora se ha reportado en las formaciones Arrojos y El Tren, Caborca, en la Zona de *Albertella-Glossopleura* (Stewart *et al.*, 1984). En las formaciones Wheeler y Marjum, Utah, en la Zona de *Bolaspidella* (Robinson, 1971).

Género *Quadrisonia* Rowell & Henderson, 1978

Quadrisonia sp.

Lámina 5, figs. 3, 4, 6 y 7

2000 *Quadrisonia minor* Williams et al. Pag 118. Fig. 1a-e.

Ocurrencia: Abundante. Formación La Huerta.

Edad: Zona de *Aphelaspis*.

Comentarios: Almazán-Vázquez (1989) lo reporta en la Formación Milpillas, Arivechi en la Zona de *Elvinia*. También se encuentra en la Formación Notch Peak, Utah (Popov *et al.* (2002). Se encuentra en Suiza, Australia, Antártida y en Kazakhsan (Williams et al.,2000)

Clase Paterinata Williams *et al.*, 1996

Orden Paterinida Rowell, 1965

Familia Paterinidae Schuchert, 1893

Género *Dictyonina* Cooper, 1942

Dictyonina sp.

2013 *Dictyonina* sp. Cuen Fig.21

Ocurrencia: Escasa. Formación El Mogallón.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: En Sonora se encuentra en la Formación el Gavilán, San José de Gracia (Cuen *et al.* 2016) en la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. En las formaciones Arrojos y El Tren, Caborca, en la Zona de *Albertella-Glossopleura* (Stewart *et al.* 1984). En la Columbia Británica aparece en la Formación Mount Whyte, en la Zona de *Plagiura-Poliella*.

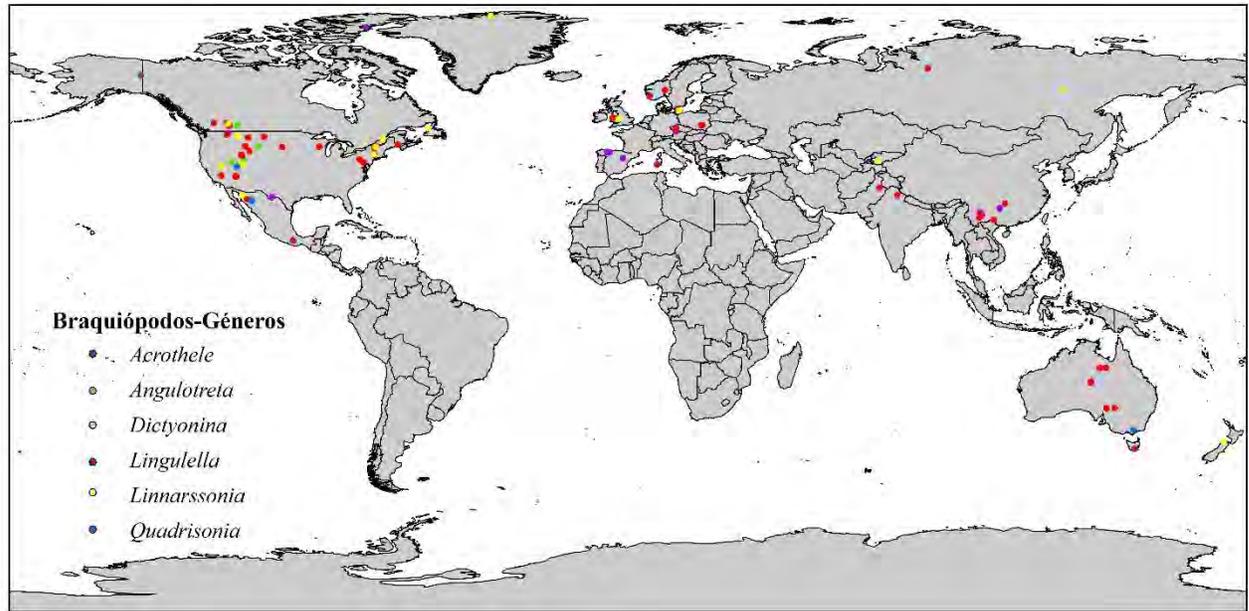


Figura 42.- Distribución mundial de los géneros de braquiópodos encontrados en Arivechi, Sonora. Elaborado con información de la página *The Paleobiology Database* <https://paleobiodb.org/#/>

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848

Clase Trilobita Walch, 1771

Orden Agnostida Salter, 1864

Superfamilia Agnostoidea M'Coy, 1849

Familia Ptychagnostidae Kobayashi, 1939

Género *Ptychagnostus* Jaekel, 1909

Ptychagnostus atavus Tullberg, 1880

Lámina 2, fig. 1

2007 *Ptychagnostus atavus* Babcock et al., Fig. 6 B-D

Ocurrencia: Abundante. Unidad 2 y 3 de la Formación El Mogallón

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: la especie es utilizada como fósil índice. Su primera aparición en la Formación Wheeler, Utah, coincide con la base del Drumiano (Babcock *et al.* 2007). Se ha reportado en la Formación Meagher, Montana (Robinson, 1963); las formaciones Wheeler y Marjum, Utah; formaciones Geddes Limestone, Secret Canyon, Lincoln Peak en Nevada (Robinson, 1982) en la Zona de *Ptychagnostus atavus*. En China se ha reportado en la Formación

Yangliugang (Lu & Lin, 1989), en la provincia de Zhejiang. Se ha encontrado también en la Formación Baguamiao (Yang *et al.* 1993) en la provincia de Sichuan, Zona de *Ptychagnostus atavus* y en Huaqiao, provincia de Hunan (Peng *et al.*, 2009) en la Zona de *Ptychagnostus punctuosos* y *Lejopyge laevigata*. En la Formación Inca en Queensland, Australia (Won y Below, 1999).

Orden Incierta (?Ptychopariida Swinnerton, 1915)

Familia Alokistocaridae Resser, 1939

Género *Amecephalus* Walcott, 1924

Amecephalus arrojosis Lochman, 1948

Lámina 2, fig. 5

Ocurrencia: Moderada. Unidad 2 de la Formación El Mogallón.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: En el estado de Sonora se reportó en la Formación Arrojos, Cerro el Rajón, en la Zona de *Albertella-Glossopleura*. En Estados Unidos, la especie ha sido reportada en la Lutita Pioche, Nevada, en la Zona de *Amecephalus arrojosis* (Sundberg & McCollum, 2000), así como en la Formación Emigrant, Nevada, y en la Formación Monola en Inyo, California (Sundberg & McCollum, 2003) en la Zona de *Amecephalus arrojosis*.

Familia Marjumiidae Kobayashi, 1935

Género *Modocia* Walcott, 1924

Modocia typicalis Walcott, 1924

Lámina 2, fig. 3

Ocurrencia: Escasa. Unidad 2 y 3 de la Formación El Mogallón.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: se ha reportado en la Formación Marjum, Utah, en la Zona de *Bolaspidella* (Briggs & Robinson, 1984) y en la Formación Wheeler, Utah (Robinson, 1971).

Orden Corynexochida Kobayashi, 1935

Familia Ogygopsidae Rasetti, 1951

Género *Ogygopsis* Walcott, 1889

Ogygopsis typicalis Walcott, 1889

Lámina 2, figs. 2 y 4

Ocurrencia: Escasa. Unidad 2 y 3 de la Formación El Mogallón.

Edad: Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Comentarios: Esta especie ha sido reportada en la Formación El Gavilán. Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*. Zona de *Ptychagnostus praecurrens*, también para la Formación Carrara, Belted Range, Nevada, dentro de la Zona de *Albertella* (Palmer & Halley, 1979). *Ogygopsis* sp. ha sido reportada en la Formación Manola, Inyo Mountains, en la Biozona de *Albertella* (Sundberg & McCollum, 1997).

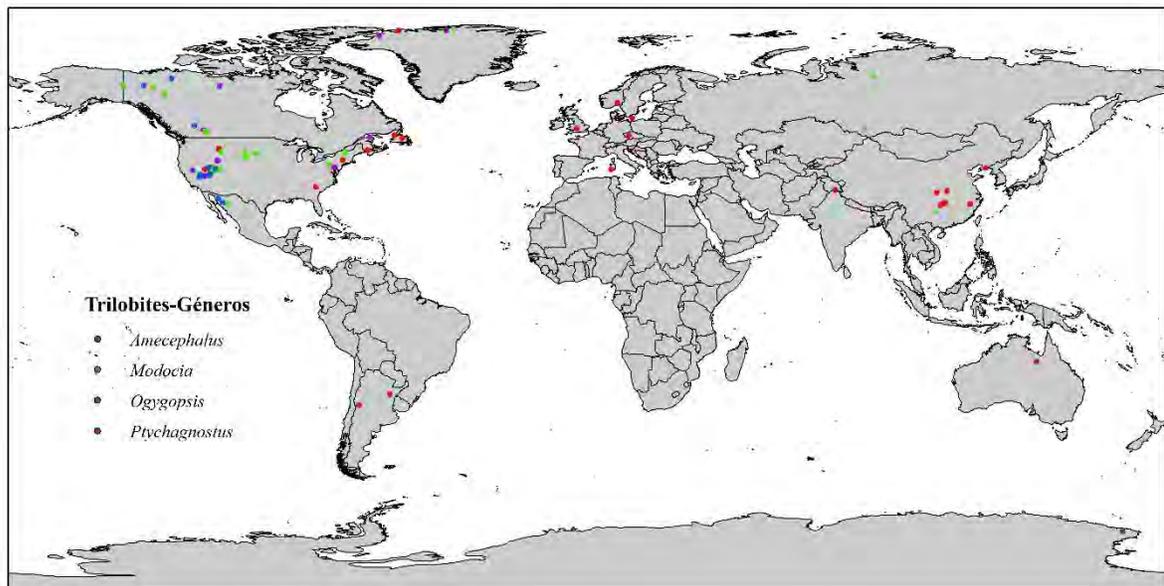


Figura 43.- Distribución actual de los géneros de trilobites encontrados en el presente trabajo. Elaborado con información de la página *The Paleobiology Database* <https://paleobiodb.org/#/>

Phylum Chordata Bateson, 1885
Clase Conodonta Pander, 1856
Orden Paraconodontida Müller, 1962
Familia Protopanderodontidae Lindström, 1970
Género *Scolopodus* Pander, 1856
Scolopodus subrex Ji & Barnes, 1994

2006 *Scolopodus striatus* Pander. Tolmacheva, pag. 284, figs. 8. A-I.

2002 *Scolopodus subrex* Pyle & Barnes Pag. 197 Plate 14 Fig.15-20.

Ocurrencia: Moderada. Formación El Santísimo, unidad 4.

Edad: Zona de *Macerodus diana*

Comentarios: en el estado de Sonora se ha reportado en la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.* 1999) y en el Rancho las Norias (Page *et al.* 2003). También se ha reportado en Estados Unidos en la Formación Fillmore, Utah (Young, 1973). En Rusia (Siberia) en la Formación Ugorskii (Kanygin *et al.* 1989).

Género *Paltodus* Pander, 1856
Paltodus deltifer Lindström, 1955
Lámina 6, fig. 5

Ocurrencia: Moderada. Formación El Santísimo, unidad 4.

Edad: Zona de *Macerodus diana*

Comentarios: Se encuentra en la Zona de *Paltodus deltifer* en la Formación Rupasca Argentina (Zeballos *et al.* 2005).

Orden Conodontophorida Eichenberg 1930
Familia Distacodontidae Bassler 1925
Género *Drepanodus* Pander, 1856
Drepanodus sp.
Drepanodus arcuatus Pander 1856

Lámina 6, fig. 4

2011 Viira, pag. 17 Fig.15 A-G

Ocurrencia: Moderada. Formación El Santísimo, unidad 4. Formación El Boquinete unidad 1.

Edad: Zona de *Rossodus manitouensis*, Zona de *Macerodus diana*

Comentarios: en el estado de Sonora se ha reportado en la Sierra Agua Verde (Stewart et al. 1999) y en el Rancho las Norias en la Zona de *Macerodus diana* (Page et al. 2003)

Género *Rossodus* Repetski y Ethington, 1983

Rossodus manitouensis Repetski y Ethington, 1983

Lámina 6, figs. 1 y 2

1983 *Rossodus manitouensis* n.sp. Repetski y Ethington, figs. 1A–V, 2A–T, 3A–R, 4A–D.

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

Ocurrencia: Moderada. Formación El Santísimo, unidad 4.

Edad: Zona de *Macerodus diana*.

Comentarios: se encuentra en la Sierra Agua Verde en la Zona de *Rossodus manitouensis* (Stewart et al. 1999)

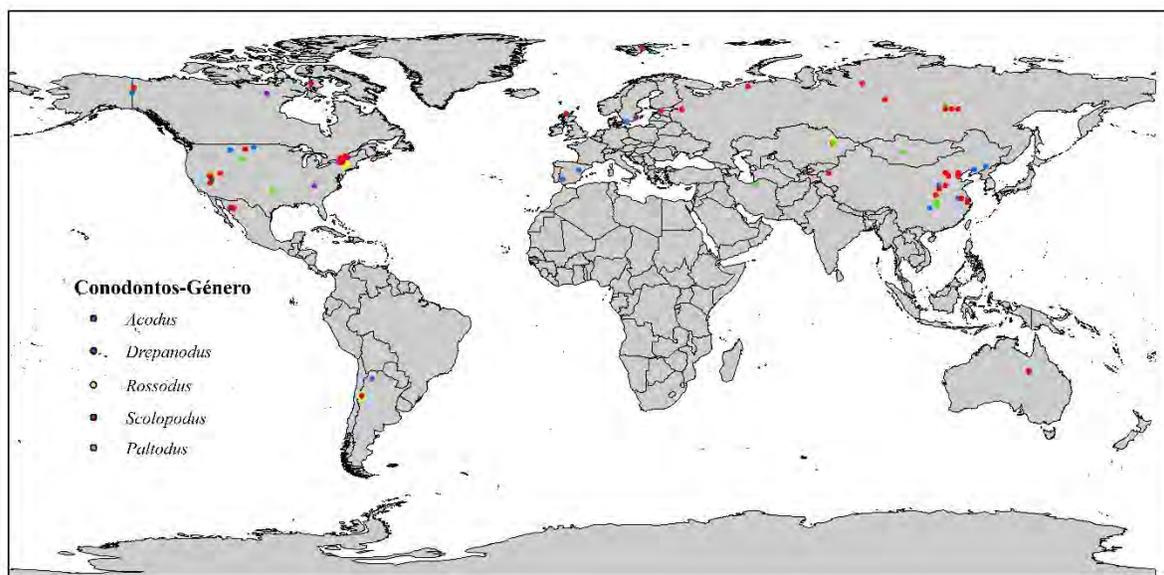


Figura 44.- Distribución mundial de los géneros de conodontos del Ordovícico Inferior. Elaborados con datos de la página *The Paleobiology Database* <https://paleobiodb.org/#/>

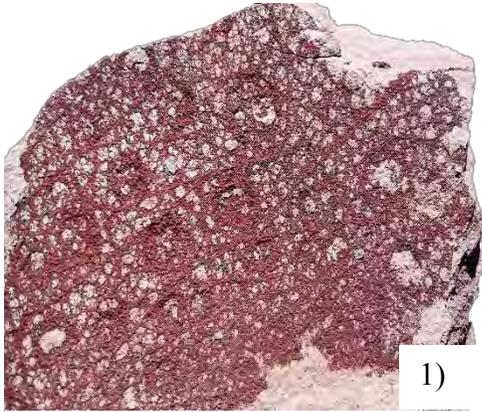


Lámina 1.- Figura 1. *Valospongia sonorensis*. Figuras 2 y 3. ?*Choia carteri* Figuras 4 *Diagoniella* sp. y 5. ?*Diagoniella cyathiformis*. Formación El Mogallón.

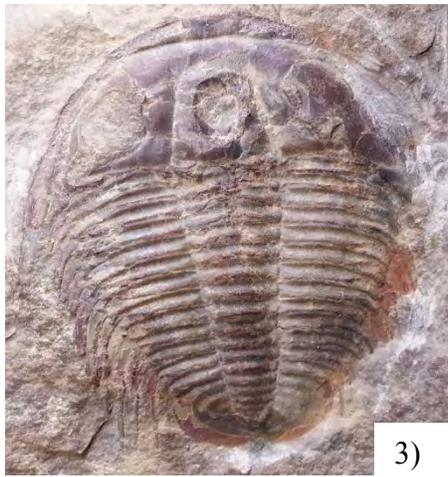
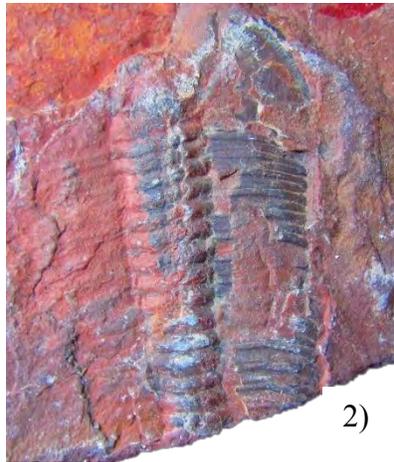
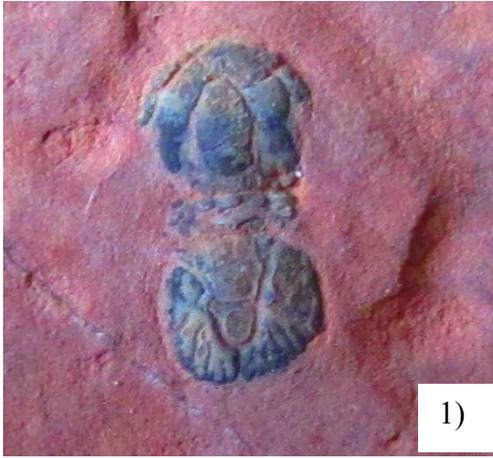


Lámina 2.- Figura 1. *Ptychagnostus atavus*. Figuras 2 y 4. *Oygopsis typicalis*. Figura 3. *Modocia typicalis*. Figura 5. *Amecephalus arrojosensis*. Figura 6. Trilobite no identificado. Formación El Mogallón.



1)



2)



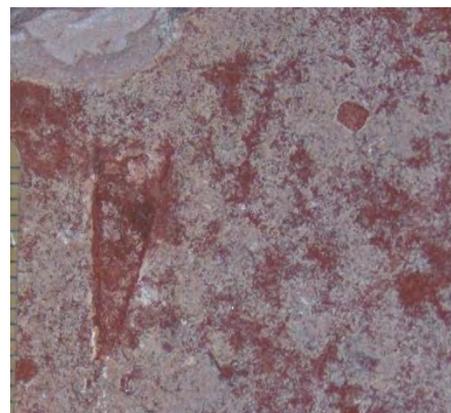
3)



4)



5)



6)

Lámina 3.- Figura 1. ?*Ogygopsis* sp. Figura 2. Trilobite no identificado. Figura 3. *Acrothele* sp. Figura 4. *Acrothele concava*. Figura 5. *Valospongia arivechensis*. Fig. 6 *Hyolithes* sp. Formación El Mogallón.

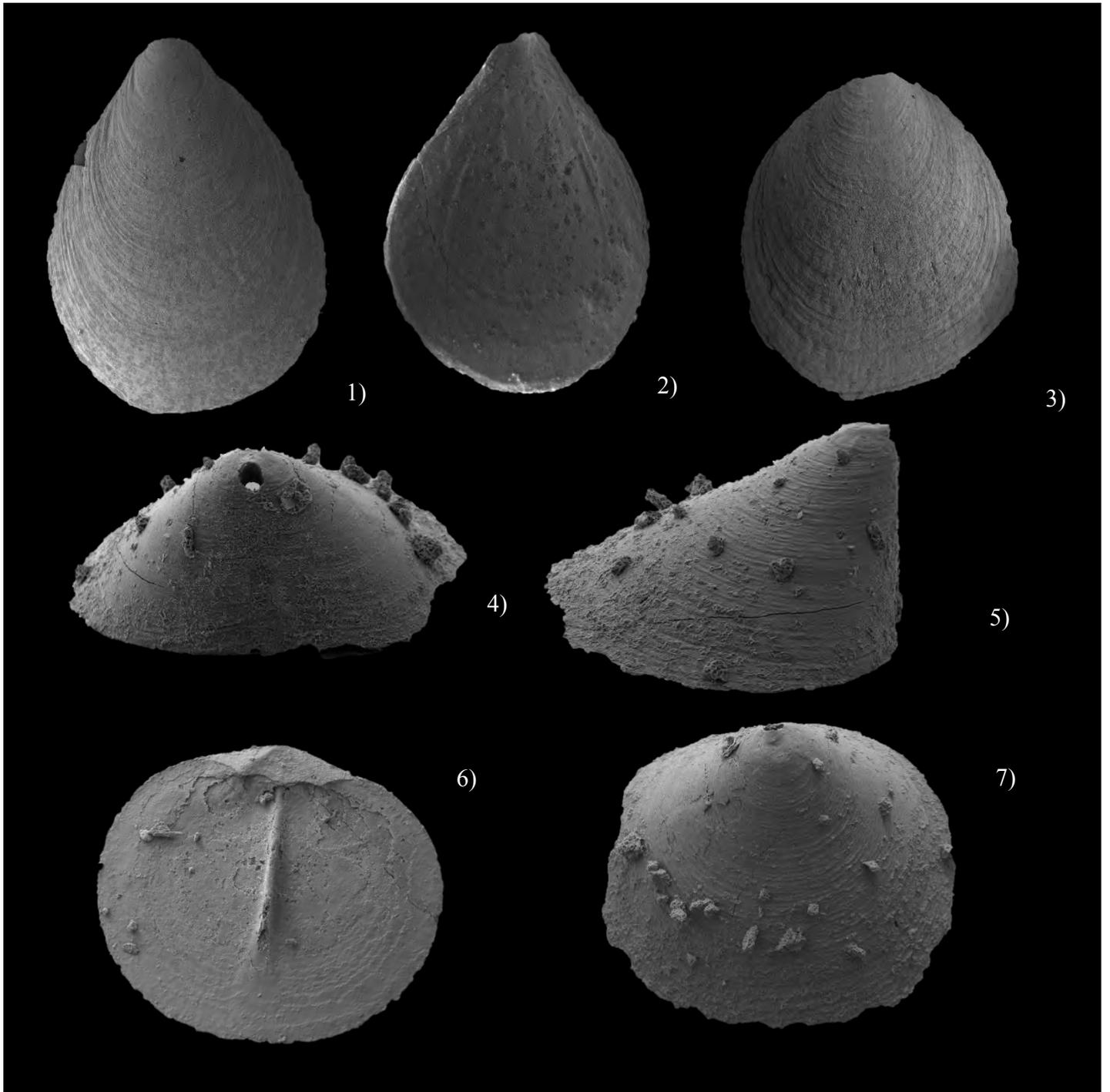


Lámina 4.- Figuras 1, 2 y 3. *Lingulella* sp. Figuras 4, 5, 6 y 7. *Angulotreta triangularis*.
Formación La Huerta.

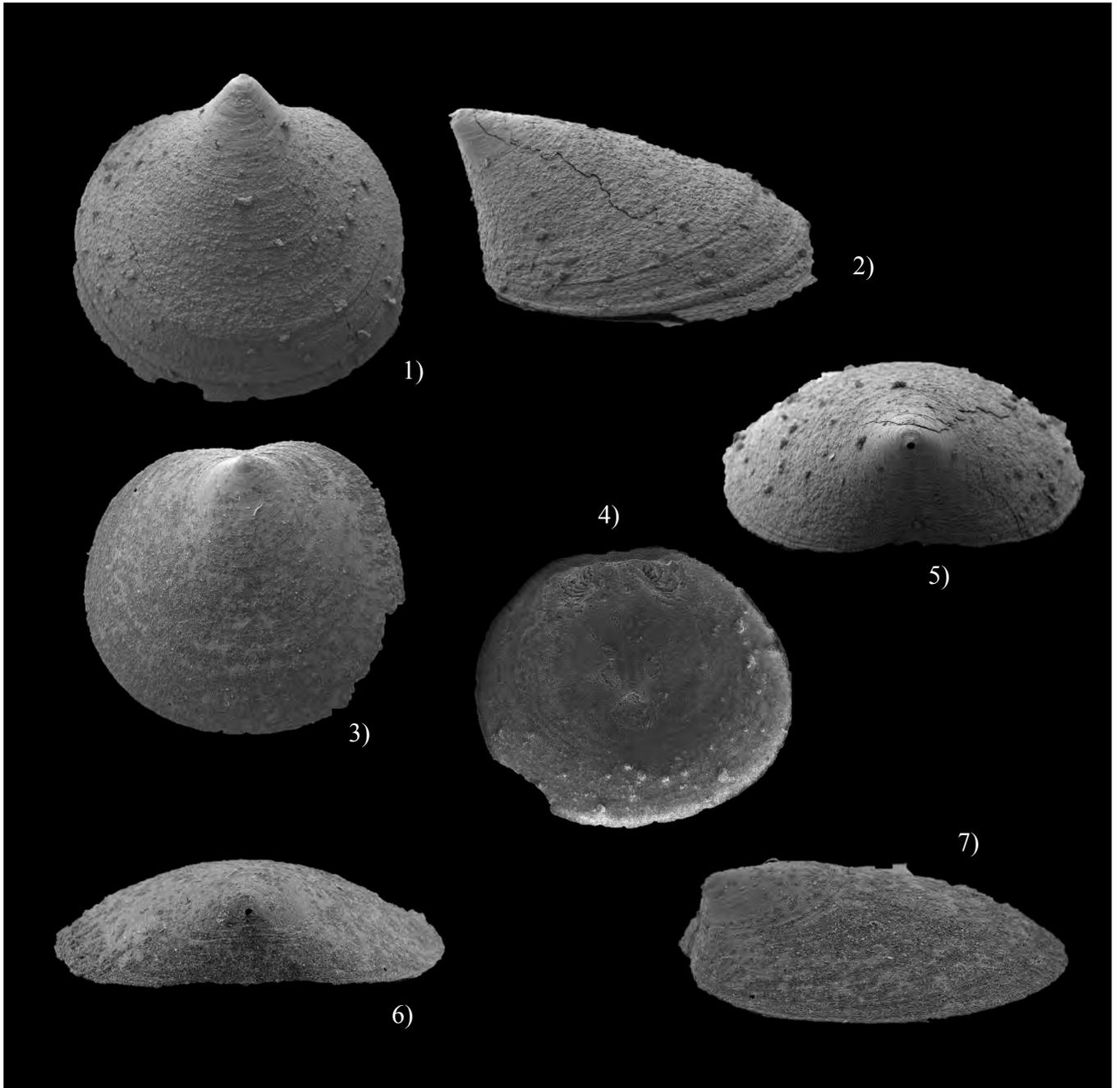


Lámina 5.- Figuras 1, 2 y 5. *Linnarssonia* sp. Figuras 3, 4, 6 y 7. *Quadrisonia* sp. Formación La Huerta.

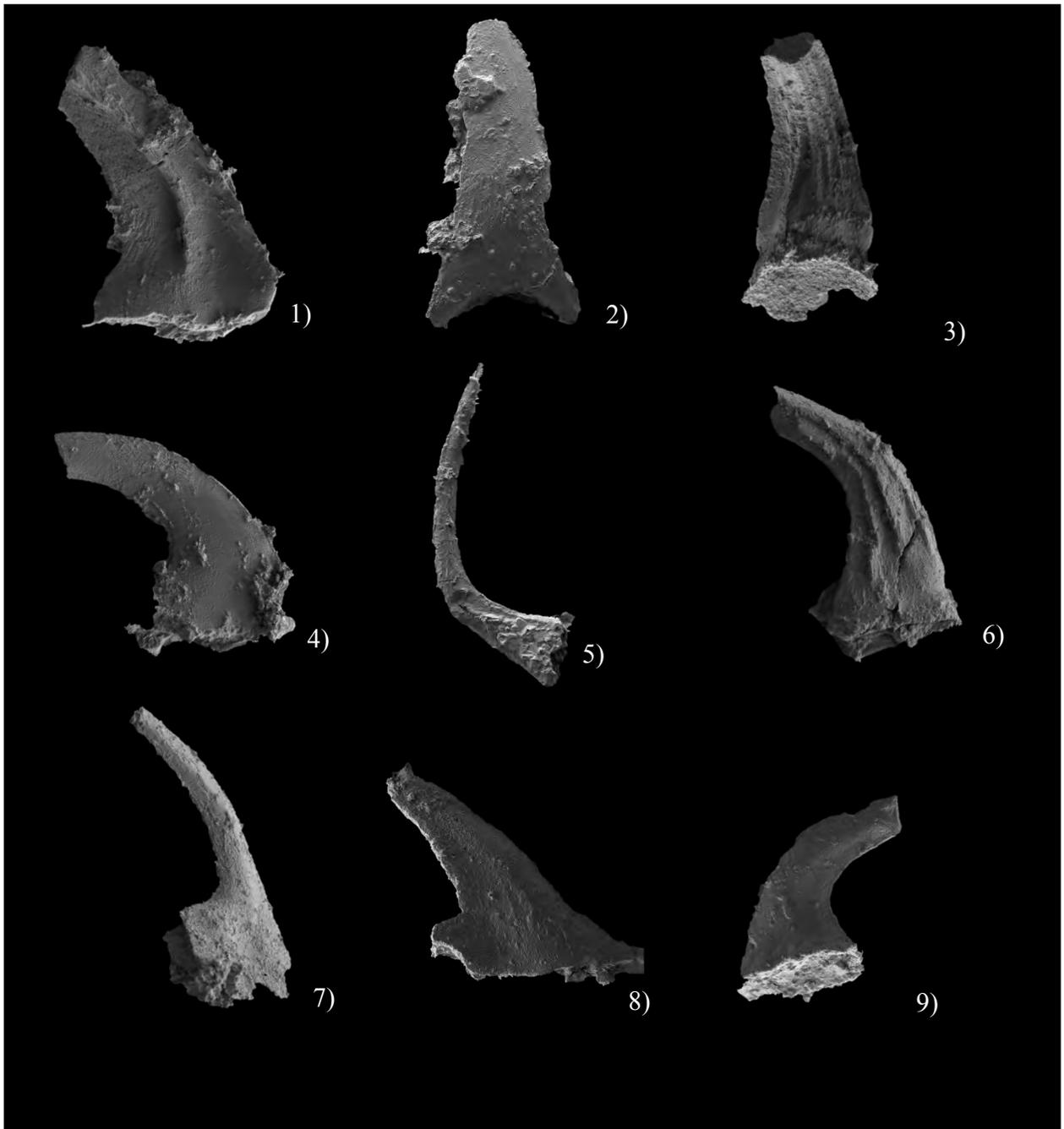


Lámina 6.-Fig. 1 y 2. *Rossodus manitouensis*. Fig. 3 *Scolopodus subrex*. Fig. 4 *Drepanodus* sp. Fig. 5 *Paltodus deltifer*. Fig. 6 *Scolopodus subrex* Fig. 7 *Drepanodus arcuatus* Fig. 8 *Acodus* sp. Fig. 9 *Drepanodus* sp. Formación El Santísimo y Formación El Boquinete.

10. DISCUSIÓN

La base de la Formación la Sata es un paquete de caliza gris en estratos gruesos, seguido de caliza con laminaciones de arcilla, caliza con oolitos y oncolitos, cuarcitas de grano medio-grueso, lutitas intercaladas con caliza y en la cima caliza gris en estratos gruesos. Estas litologías no concuerdan con la definición original de esta formación, la cual identifica el paquete de cuarcitas con estratificación cruzada en la base. Tampoco se encontró fauna fósil en la localidad tipo donde Almazán-Vázquez (1989) describe trilobites, braquiópodos y moluscos. Por lo tanto, no se pudo confirmar la edad Cámbrico medio con base a fósiles en el presente trabajo.

11. CONCLUSIONES

1. Se realizaron seis secciones geológicas, una en la Sierra Agua Verde y cinco en el área de Arivechi.
2. Estas capas exponen las formaciones Puerto Blanco y Provedora del Cámbrico inferior-medio y las unidades Unidad Cámbrico medio-superior y Unidad Cámbrico superior y la Formación en Boquinete en la Sierra Agua Verde, en Mátape, Sonora. En Arivechi se observaron las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y El Santísimo.
3. En la Sierra Agua Verde aflora la Formación Puerto Blanco de edad Cámbrico inferior-Piso 3 dentro de las biozonas *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria* y *Nevadella* y la Formación Provedora de edad Cámbrico inferior-Piso 4 en la Biozona de Zona de *Bristolia mohavensis* y *B. insolensis* ambas correlacionables con el área de Caborca. Respecto a la unidad Cámbrico medio-superior y unidad Cámbrico superior no se encontró fauna fósil que permita ir más allá de los datos de base. Hacia la parte oeste de la sierra es donde aflora las rocas del Ordovícico Inferior -Tremadociano en la Biozona de *Iapetognathus*, *Rossodus manitouensis*, Lower Diversity-Interval, *Macerodus diana*.
4. En la Sierra Agua Verde se encontró la presencia: (a) *Lingullela* sp.; (b) *Angulotreta* sp.; (c) *Scolopodus subrex* y (d) *Drepanodus* sp.
5. En Arivechi en la Formación La Sata no se encontró fauna fósil para corroborar la edad Piso 5 (Cámbrico medio) propuesta por autores anteriores; en la Formación El

Mogallón la es edad Drumiano dentro de la biozona de *Ptychagnostus atavus*; la Formación la Huerta es de edad Paibiano dentro de la zona de *Aphelaspis*; la Formación El Santísimo es de edad Tremadociano dentro de la zona de *Rossodus manitouensis*, Low-Diversity Interval y *Macerodus diana*.

6. En la Formación La Huerta se encontró la Zona de *Aphelaspis* debido a la presencia del braquiópodo *Angulotretra triangularis*, de edad Paibiano.
7. En la Formación El Mogallón se confirma la presencia de *Modocia typicalis*; se identificaron por primera vez *Amecephalus arrosensis* y los braquiópodos *Acrothele convava* y *Dictyonina* sp. Esta asociación faunística indica una edad Drumiano del Cámbrico medio. En la tercera unidad de esta formación se encontraron abundantes poríferos como *Ratcliffespongia arivechensis*, *Valospongia sonorensis*, y se reportan e ilustran por primera vez en el área *Choia* sp, y *Diagoniella* sp.
8. La Formación El Santísimo se identificó debido a los conodontos *Rossodus manitouensis*, *Scolopodus subrex* y *Paltodus deltifer* indicando la zona de *Macerodus diana*, edad del Tremadociano para las calizas que forman los acantilados del Cerro El Santísimo. Estos conodontos son los primeros que se ilustran para el Ordovícico en el área al oeste de Arivechi.
9. Se reportan por primera vez para el área de Arivechi los conodontos *Rossodus manitouensis*, *Scolopodus subrex*, *Drepanodus* sp. *Paltodus deltifer*, *Scolopodus subrex*, *Drepanodus arcuatus*.
10. Las biozonas de *Rossodus manitouensis*, Low-Diversity Interval y *Macerodus diana* han sido identificadas tanto en los estratos de la Sierra Agua Verde como en el área al oeste de Arivechi
11. De manera general los ambientes cámbricos son someros, y en el caso de Arivechi muy ricos en fauna fósil como se puede observar en la región de la Cordillera Canadiense y en el estado de Utah, E.U.A
12. Si bien el espesor de las secuencias del Great Basin de E.U.A es mayor, las secuencias de Arivechi tienen gran parecido con las formaciones Marjum y Wheeler de Utah, E.U.A.

13. La situación paleogeográfica de Sonora es parecida a las plataformas del Cratón Norteamericano en su parte suroeste.
14. Los géneros de conodontos encontrados en las áreas de estudio corresponden a la Provincia “Mid-Continent Realm” lo que indica que vivían en aguas cálidas y más salinas.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Agematsu, S., Sashida, K., Salyapongse, S., & Sardud, A. (2008). Early Ordovician conodonts from Tarutao island, southern peninsular Thailand. *Palaeontology*, 51(6), 1435-1453.
- Almazán-Vázquez, E. (1989). El Cámbrico Ordovicio de Arivechi, en la region Centro-Oriental del Estado de Sonora. *Instituto de Geología, Revista*, 8(1), 58-66.
- Almazán-Vázquez, E. (2002). El Cámbrico temprano y medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. *Unión Geofísica Mexicana*, 22(2), 333.
- Almazán-Vázquez, E., & Fernandez-Aguirre, M. (1988). Estratigrafía de la hoja Arivechi (H12-D56). *Segundo Simposio sobre Geología y Minería de Sonora: Hermosillo, Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Universidad de Sonora, Dirección General de Fomento Minero del Estado de Sonora y Asociación de Ing. de Minas, Met, y Geol*, 2, 2-3.
- Almazán-Vázquez, E., & Palafox-Reyes, J. J. (2002). Subdichotomoceras, una amonita del Kimmeridgiano, en la región de Arivechi, Sonora. *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 15, 37-50.
- Almazán-Vázquez, E., Buitrón, B., & 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.
- Almazán-Vázquez, E., Buitron, B., & Vachard, D. (2010). Los trilobites del Cámbrico y Ordovícico en el estado de Sonora, México: su diversidad sistemática, su status en el contexto mundial y sus implicaciones paleogeográficas. *2º Simposio de bioestratigrafía y eventos del Paleozoico inferior-X Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía-VII Congreso Latinoamericano de Paleontología*.
- Almazán-Vázquez, E., Buitron, B., & Vachard, D. (2010). Los trilobites del Cámbrico y Ordovícico en el estado de Sonora, México: su diversidad sistemática, su status en el contexto mundial y sus implicaciones paleogeográficas. *2º Simposio de bioestratigrafía y eventos del Paleozoico inferior-X Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía-VII Congreso Latinoamericano de Paleontología*.
- Almazán-Vázquez, E., Vega, R., & Buitrón, B. (2010). *Un trilobite del Ordovícico temprano, Ectenonotus westoni (Billings), del Rancho Las Norias, en la región central del estado de Sonora*. Reunion Anual de la Unión Geofísica Mexicana.
- Avila-Angulo, R. (1987). *Consideraciones geológicas y estratigráficas de la porción NW de Hermosillo, México*. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora. Tesis de Licenciatura.

- Babcock, L. E., Robison, R. A., Rees, M. N., Peng, S., & Saltzman, M. R. (2007). The Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Drumian Stage (Cambrian) in the Drum Mountains, Utah, USA. *Episodes*, 30(2), 85.
- Barrera-Moreno, E., & Dominguez-Perla, J. (1987). *Geología de la Carta Tonichi (H12D56) con énfasis en el Paleozoico porción central del Estado de Sonora*. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora.
- Bartolini, C. (1988). *Regional structure and stratigraphy of Sierra El Aliso, central Sonora, Mexico*. Tucson, Arizona: University of Arizona, Thesis Master of Science.
- Bartolini, C., Morales, M., Spinosa, C., & Finney, S. (1990). Paleozoic off-shelf successions unconformably overlain by Triassic strata in central Sonora, Mexico: Evidence for a Permo-Triassic tectonic event? *Geological Society of America: Abstracts with Programs*, 22(7), A114.
- Bartolini, C., Morales-Montaña, M., Barrera-Moreno, Dominguez-Perla, Navarro-Martinez, L., Soto-Contreras, L., . . . Carter, C. (1995). Geologic reconnaissance of Ordovician deep-marine sequences in Central, Sonora, México. (J. Cooper, M. Droser, & S. Finney, Edits.) *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System: Fullerton, Calif., Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM)*, 77, 285-289.
- Beresi, M., Cabaleri, N., Buitrón, B., Rodriguez, M., Heredia, S., & Tortello, M. (2012). Microfacies, biota y paleoambientes sedimentarios del Ordovícico temprano-medio del Cerro Salazar, Sonora central, Mexico. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(2), 330-345.
- Briggs, D., & Robison, R. (1984). Exceptionally preserved nontrilobite arthropods and Anomalocaris from the Middle Cambrian of Utah. *University of Kansas Paleontological Contributions*, 111, 1-23.
- Buitrón, B. (1992). Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico inferior de México y su contenido biótico. (J. Gutiérrez Marco, J. Saavedra, & I. Rábano, Edits.) *Paleozoico inferior de Ibero-América, Universidad de Extremadura*, 193-201.
- Buitrón, B., Almazán-Vázquez, E., & Mendoza, M. (2004). *Gogia spiralis* el eocrinoide de mayor antigüedad (Cámbrico temprano) de México. *Unión Geofísica Mexicana*, 24(2), 251.
- Buitrón, B., Vachard, D., Clausen, S., & Gómez, E. (2011). Moluscos del Cámbrico (Hyalolithida, Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México. *Reunión Internacional de Malacología. Libro de Resúmenes*, 175.

- Cirett, G., & Aguilar, R. (1989). *Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México: Sonora, México*. Hermosillo: Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura.
- Clark. (1987). Conodonts. En A. Cheetham, A. Rowell, & R. Boardman, *Fossil invertebrates*. Blackwell Science.
- Cohen, K., Finney, S., Gibbard, P., & Fan, J. ((2013;updated)). The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.
- Cooper, G., & Arellano, A. (1946). Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México. *Bulletin American Association Petroleum Geologists*, 30(4), 606-611.
- Cooper, G., Arellano, A., Jhonson, J., Okulitch, V., & Stoyanow, A., Lochman, C.,. (1952). Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México. *Smithsonian Miscellaneous Collections.*, 119, 1-184.
- Cooper, G., Arellano, A., Johnson, J., & Okulitch. (1956). Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Pt. 1ª. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.*, 259.
- Cuen-Romero, F. (2012). *Sobre la Estratigrafía y Paleontología del Cámbrico del área de San José de Gracia.*. Hermosillo: Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura.
- Cuen-Romero, F. (2013). *Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas*. Hermosillo: Universidad de Sonora, Tesis de Maestría.
- Cuen-Romero, F., Almazán-Vázquez, E., Montijo, A., Minjarez, I., Grijalva, F., Monreal, R., . . . Ochoa, A. (2009). Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico temprano y medio en la parte central del estado de Sonora, México. *Unión Geofísica Mexicana*, 29(1), 91.
- Cuen-Romero, F., Valdez-Holguín, J., Buitrón, B., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo-González, A., & Minjarez-Sosa, I. (2016). Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 429–441.
- Dumble, E. T. (1900). *Notes on the geology of Sonora. Mexico* (Vol. 29). Transactions of the Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.
- Fedorov, A. B., & Pereladov, V. S. (1987). Kremnevye spikuly gubok iz Kuonamskoy svity severo-zapada Sibirskoy platformy [Siliceous sponge spicules from the Kuonamka Formation of the northeastern Siberian Platform]. En S. P. Bulynnikova, & G. Klimova (Edits.), *Novye vidy drevneishikh bespozvonochnykh i rasteniy iz*

fanerozoica Sibiri [New species of ancient invertebrates and plants of the Phanerozoic of Siberia] (págs. 36-46). Novosibirsk: Siberian Scientific-Research Institute of Geology, Geophysics, and Mineral Resources.

Fernandez-Aguirre, M., & Almazán-Vázquez, E. (1996). Geología y yacimientos minerales de la Carta Arivechi, Sonora, México. *Gobierno del Estado de Sonora. Secretaría de Desarrollo Económico y Productividad. Dirección de Fomento Minero*, 18, 7-10.

Firby, J., & Durham, J. (1974). Molluscan Radula from Earliest Cambrian. *Journal of Paleontology*, 48(6), 1109-1119.

Franco-Vega, O. (200). *Bioestratigrafía del Ordovícico Temprano en los Ranchos Pozo Nuevo y Las Norias, Sonora, México*. Universidad de Sonora. Tesis de Licenciatura.

Gradstein, F., Ogg, J., Schmitz, M., & Ogg, G. (2012). *Geological Time Scale* (1° ed.). ELSEVIER.

H. Ayuntamiento de Arivechi. (2012). *Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015, Arivechi, Sonora*.

Himanga, J. C. (1977). *Geology of the Sierra Chiltepin, Sonora, México*. Flagstaff: Northern Arizona University, MS Thesis.

Hollingsworth, J. (2011). Lithostratigraphy and Biostratigraphy of Cambrian Stage 3 in Western Nevada and Eastern California. (Hollingsworth, J.S, Sundberg, F.A., & Foster, J.R., Edits.) *Museum of Northern Arizona, Bulletin 67*, 321.

Huerta-Ruiz, A. (2011). *Moluscos del Cámbrico (Hyalolithida, Syssoiv, 1957) de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones bioestratigráficas, Paleoecológicas y Paleogeográficas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis profesional de Ingeniero Geólogo.

INEGI. (2009). *Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Arivechi, Sonora*.

Kanygin, A., Moskalenko, T., Yadrenkina, A., Abaimova, A., Semenova, V., Sychev, O., & Timokhin, A. (1989). Ordovician siberian Platform: Fauna and stratigraphy of the Lena Facial Zone; Novosibirski; Nauka Sib. Birch. *Trudy Instituta Geologii i Geofiziki Vypusk Akademiya Nauk SSSR (en Ruso)*, 751, 1-216.

Ketner, K. B. (1986). Eureka Quartzite in Mexico?—tectonic implications. *Geology*, 14(12), 1027-1030.

King, R. E. (1939). Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of México. *Geological Society of America Bulletin*, 50(11), 1625-1722.

- Lochman, C. (1948). New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, México. *Journal of Paleontology*, 22(4), 451-464.
- Lu, Y., & Lin, H. (1989). The Cambrian trilobites of western Zhejiang. *Palaeontologia Sinica, new series B*, 25, 1-287.
- Ludvigsen, R., & Westrop, S. (1985). Three new Upper Cambrian stages for North America. *Geology*, 13(2), 139-143.
- Maytorena-Silva, J., & Esparza-Yáñez, F. (1990). The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic Implications. *Geological Society of America. Abstracts with programs*, 22(3), 65.
- McCollum, L., & Sundberg, F. (2007). Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, U.S.A.: Implications for global correlations and defining a Series 3 global boundary stratotype. *Memoirs of the Association of Australasian Paleontologists*, 34, 147-156.
- McMenamin, M. (1987). Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, México. *Journal of Paleontology*, 61(4), 738.
- Menicucci, S. (1975). *Reconnaissance geologique et miniere de la region entre Hermosillo et le Rio Yaqui (Sonora central, Mexique)*. These III Cycle, Université Scientifique et Medical de Grenoble, France.
- Mergl, M., & Kordule, V. (2008). New Middle Cambrian lingulate brachiopods from the Skryje-Týřovice area (Central Bohemia, Czech Republic). *Bulletin of Geosciences. Czech Geological Survey*, 83(1), 11-20.
- Miller, J. F. (1984). Cambrian and earliest Ordovician conodont evolution biofacies, and provincialism. *Geological Society of America Special Paper* 196.
- Minjarez-Sosa, I., Ochoa-Granillo, J., & Sosa-León, P. (1993). Geología de la Sierra Agua Verde, NE de Villa Pesqueira (Mátape). *Resúmenes, Tercer simposio de la geología de Sonora y áreas adyacentes. Hermosillo, Sonora, México, Universidad de Sonora y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, (págs. 83-85).
- Minjarez-Sosa, I., Palafox-Reyes, J., Torres, Y., Martínez, J., Rodríguez, B., & Villalobos, R. (1985). Consideraciones Respecto a la Estratigrafía y Estructura del Área de Sahuaripa-Arivechi. *Boletín del Departamento de Geología*, 2(1 y 2), 90-105.
- Montes, M., & Campillo, I. (1983). *Geología del yacimiento de barita de Cobachi, Sonora*. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora, Tesis Profesional.
- Montijo-González, A., & Terán-Ortega, L. (1988). *Geología del área de Rebeico con énfasis en el Paleozoico*. Universidad de Sonora. Tesis de Licenciatura.

- Nardin, E., Almazán-Vázquez, E., & Buitrón-Sánchez, B. (2009). First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the Early – Middle Cambrian of Sonora (México), with biostratigraphical and palaeontological comments. *Geobios*, 42, 233-242.
- Noll, J. (1981). *Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, México*. Flagstaff, Arizona: Northern Arizona University, MS Thesis.
- Ochoa-Granillo, J. A., & Sosa-León, J. P. (1993). *Geología y Estratigrafía de la Sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico, Mátape, Sonora, México* (Tesis de Licenciatura ed.). Hermosillo, Sonora, México: Universidad de Sonora.
- Ornelas, E., & Arriola, G. (1984). *Geología de los Cerros La Sata y El Mogollon*. Reporte de Geología de Campo 3, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, México.
- Page, W. R., Harris, A. G., & Repetski, J. E. (2012). The Cambrian-Ordovician Rocks of Sonora, Mexico, and Southern Arizona, Southwestern Margin of North America (Laurentia). *The Great Carbonate Bank: The geology and economic resources of the Cambrian-Ordovician Sauk megasequence of Laurentia: AAPG Memoir 98*, 897-908.
- Page, W., Gray, F., Iriando, A., Miggins, D., Blodgett, R., Maldonado, F., & Miller, R. (2010). Stratigraphy and Mesozoic–Cenozoic tectonic history of northern Sierra Los Ajos and adjacent areas, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(3), 557-571.
- Page, W., Harris, A., Poole, F., & Repetski, J. (2003). Reinterpretation of the stratigraphy and structure of the Rancho Las Norias area, central Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 523-540.
- Palafox-Reyes, J. (2011). *Du craton au Rheique: Le nord et le centre de l'état du Sonora (Mexique) au Paleozoique superior (Devonien-Pennsylvanien), lithostratigraphie, biostratigraphie, approche geoquimique et implications géologiques*. Lille, France: Université de Lille 1. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre.
- Palafox-Reyes, J. J. (2004). La Formación Potrero de la región de Arivechi, Sonora, Mexico: un error epistemológico. *resumen UGS*.
- Palafox-Reyes, J. J., & Martínez, J. A. (1985). Estratigrafía del área de Arivechi, Sonora. *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 2(1 y 2), 30-59.
- Palafox-Reyes, J. J., Minjarez Sosa, I., Pubellier, M., & Rascon, B. (1984). Sobre la presencia de rocas del Paleozoico superior en el área de Arivechi, Sonora. *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*.

- Palmer, A. (1954). The Faunas of the Riley Formation in Central Texas. *Journal of Paleontology*, 28(6), 709-786. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/1300111>
- Palmer, A., & Halley, R. (1979). *Physical stratigraphy and trilobite biostratigraphy of the Carrara Formation (Lower and Middle Cambrian) in the southern Great Basin*. US Govt. Print. Off. N°1047.
- Pantoja-Alor, J. (1970). Rocas sedimentarias paleozoicas de la región centro-septentrional de Oaxaca. En S. G. Mexicana, *Excursión México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía: Distrito Federal, México* (págs. 67-84).
- Peel, J., Streng, M., Geyer, G., Kouchinsky, A., & Skovsted, C. (2016). "Oyatoryctocara granulata" assemblage (Cambrian series 2-series 3 boundary) of Londal North Greenland. *Australasian Palaeontological Memoirs*, 49, 241.
- Peiffer-Rangin, F. (1988). *Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern unpublished manuscript on file with J.H. Stewart, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California and F.G. Poole, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado*, 90 p.
- Peiffer-Rangin, F., Echavarrri-Pérez, A., Salas-Piza, G., & Rangin, C. (1980). *Sur la présence d'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Paris, Academia des Seances Comptes Rendus*, (Vols. 290, Ser. D.).
- Peng, S., Babcock, L., & Cooper, R. (2012). The Cambrian Period. En M. Gradstein, J. Ogg, M. Schmitz, & G. Ogg, *The Geological Time Scale* (págs. 437-488). Elsevier.
- Peng, S., Babcock, L., Zuo, J., Lin, H., Zhu, X., Yang, X., . . . Chen, Y. (2009). The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Guzhangian Stage (Cambrian) in the Wuling Mountains, northwestern Hunan, China. *Episodes*, 32(1), 41-55.
- Perez-Ramos, O. (1992). *Permian biostratigraphy and correlation between southeast Arizona and Sonora*. The University of Arizona. Thesis of M.S.
- Pohler S, M. L., & Barnes, C. R. (1990). Conceptual models in conodont paleoecology. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 118, 409-440.
- Poole, F., Amaya-Martinez, R., & Page, W. (2000). *Silurian and Devonian carbonate-shelf rocks and Lower Jurassic sequence near Rancho Placeritas, west central Sonora*. Center of the arts. University of Sonora. Hermosillo, Sonora, México: Guide to Field Trip 2 (March 4, 2000) for the Fourth Symposium on the Geology of Northwest Mexico and adjacent areas (March 6-8, 2000).
- Poole, F., Madrid, R., & Morales-Ramirez, J. (1988). Paleozoic eugeoclinal rocks of the Sonoran orogen in the Barita de Sonora mine area, central Sonora, Mexico [abs.]. En E. Almazán-Vázquez, & M. Fernández-Aguirre (Edits.), *Resúmenes, Segundo Simposio sobre Geología y Minería de Sonora* (págs. 50-51). Hermosillo, Sonora, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.

- Poole, F., Stewart, J., & Armstrong, A. (1984). Newly discovered Paleozoic section in central Sonora, Mexico. En *Geological Survey Research 1982, U.S.* (pág. 66). Geological Survey Professional Paper 1375.
- Poole, F., Stewart, J., Berry, W., Harris, A., Repetski, J., Madrid, R., . . . Morales-Ramirez, J. (1995b). Ordovician ocean-basin rocks of Sonora, Mexico. (J. Cooper, M. Droser, & S. Finney, Edits.) *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System. Fullerton, CA, Pacific Section of Society of Sedimentary Geology (SEPM)*, 77, 277-284.
- Poole, F., Stewart, J., Repetski, J., Harris, A., Ross, R., Ketner, K., . . . Morales-Ramirez, J. (1995a). Ordovician carbonate-shelf rocks of Sonora, Mexico. (J. Cooper, M. Droser, & S. Finney, Edits.) *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System. Fullerton, CA, Pacific Section of Society of Sedimentary Geology (SEPM)*, 77, 267-275.
- Popov, L., Holmer, L., & Miller, J. (2002). Lingulate Brachiopodos from the Cambrian-Ordovician boundary beds of Utah. *Journal of Paleontology*, 76(2), 211-228.
- Pubellier, M., & Rangin, C. (1987). Mise en évidence d'une phase cénomano-turonienne en Sonora central (Mexique). Conséquences sur les relations structurales entre domaine cordillerain et domaine téthysien. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences(Paris)*, 305, 1093-1098.
- Pyle, L., & Barnes, C. (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.
- Ransome, F. L. (1904). *The geology and ore deposits of the Bisbee quadrangle, Arizona, Profesional Papers N° 21*. Washington: United States Geological Survey.
- Repetski, J., Harris, A., Stewart, J., Poole, F., & Morales-Ramirez, J. (1985). Early Ordovician conodonts from central Sonora, Mexico. En R. Alridge, R. Austin, & M. Smith (Edits.), *Fourth European Conodont Symposium (ECOS IV) Abstracts, Nottingham, England* (págs. 25-26). Southhampton, England: distributed by A.L. Austin, Department of Geology, The University of Southhampton.
- Reyes, D. (1964). *El Jurásico Superior del área de Tamán. SLP*. Superintendencia de Exploración de Tampico, Tamaulipas, PEMEX, Informe Geológico, 508, 36.
- Rigby, J. (1987). Phylum Porifera. En B. R. S., *Fossil Invertebrates*. Blackwell Scientific Publications.
- Rivera-Carranco, E. (1988). Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, 7(1), 22-27.

- Robinson, G. (1963). Geology of the Three Forks Quadrangle, Montana, United States. *Geological Survey Professional Paper*, 370, 1-143.
- Robinson, R. (1971). Additional Middle Cambrian trilobites from the Wheeler Shale of Utah. *Journal of Paleontology*, 45, 796-804.
- Robinson, R. (1982). Some Middle Cambrian agnostoid trilobites from Western North America. *Journal of Paleontology*, 56(1), 132-160.
- Robinson, R. (1999). Base of the *Ptychagnostus atavus* Zona, candidate stratotype for base of unnamed international series. (A. Palmer, Ed.) *Laurentia 99. V Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group, International Subcommittee on Cambrian Stratigraphy, Institute for Cambrian Studies, Boulder, Colorado*, 15-17.
- Robison. (1987). Trilobita. En A. H. Cheetman, A. J. Rowell, & R. Boardman, *Fossil Invertebrate*. Blackwell Science.
- Robison, R. A. (1984). Cambrian Agnostida of North America and Greenland. Part I, *Ptychagnostidae*. *Paleontological Contributions. The University of Kansas. Paper 109*, 59.
- Robison, R. A., & Pantoja-Alor, J. (1968). Tremadocian Trilobites from the Nochixtlán Region, Oaxaca, México. *Journal of Paleontology*, 40(3), 767-800.
- Rowell, & Grant. (1987). Brachiopods. En A. H. Cheetham, A. J. Rowell, & R. Boardman, *Fossil invertebrates*. Blackwell Science.
- Schwimmer, D. R., & Montante, W. M. (2012). An *Aphelaspis* Zone (Upper Cambrian, Paibian) Trilobite Faunule in the Central Conasauga River Valley, North Georgia, Usa. *Southeastern Geology*, 49(1), 31-41.
- Smith, M. P., & Harper, D. A. (2003). Causes of the Cambrian explosion. *Science*, 341(6152), 1355-1356.
- Sour-Tovar, F., Hagadorn, J., & Huitrón-Rubio, T. (2007). Ediacaran and Cambrian index fossils from Sonora, México. *Palaeontology*, 50(1), 169-175.
- Steward, J., McMenamin, M., & Morales-Ramirez, J. (1984). Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico-physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1309, 36.
- Steward, J., R.J. M., Poole, F., & K.B. K. (1988). Studies of Late Proterozoic, Paleozoic, and Triassic rocks in Sonora, Mexico. *Segundo simposio sobre la geología y minería de Sonora*. Hermosillo: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Stewart, J. H. (1982). Regional relations of Proterozoic and Lower Cambrian rocks in the western United States and northern Mexico. (J. D. Cooper, B. W. Troxel, & L. Wright, Edits.) *Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains, western Mojave Desert, and southern Great Basin, California*. Geological Society of America, Cordilleran Section Annual Meeting, 171-186.
- Stewart, J. H., Ketner, K. B., & Amaya-Martinez, R. (1988). Preliminary studies of Cambrian and Ordovician rocks near Sierra Lopez, Sonora, México. En *Segundo Simposio sobre la Geología y Minería de Sonora, México* (págs. 1-10). UNISON; AIMMGM, Distrito Sonora, DGFM y ERNO, UNAM.
- Stewart, J., Amaya-Martínez, R., & Palmer, A. R. (2002). Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, Mexico: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin. En A. Barth (Ed.), *GSA Special Papers Contributions to Crustal Evolution of the Southwestern United States* (Vol. 365, págs. 5-48).
- Stewart, Poole, Harris, Repetski, Wardlaw, Mamet, & Morales-Ramirez. (1999). Neoproterozoic(?) to pensilvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias-Geológicas*, 16(1), 35-62.
- Stitt, J., & Perfetta, P. (2000). Trilobites, biostratigraphy, and lithostratigraphy of the Crepicephalus and Aphelaspis zones, lower Deadwood Formation (Marjuman and Steptoean stages, Upper Cambrian), Black Hills, South Dakota. *Journal of Paleontology*, 72(2), 199-223.
- Stoyanow, A. (1942). Paleozoic Paleogeography of Arizona. *Bulletin Geological Society of America.*, 53, 1255 – 1282.
- Sundberg, F. A. (1994). Corynexochida and Prychopariida (Trilobita, Arthropoda) of the Ehmaniella Biozone (Middle Cambrian), Utah and Nevada. *Contributions in Science*, 446, 137.
- Sundberg, F. A., & McCollum, L. B. (1997). Oryctocephalids (Corynexochida: Trilobita) of the Lower-Middle Cambrian boundary interval from California and Nevada. *Journal of Paleontology*, 71(6), 1065-1090.
- Sundberg, F. A., & McCollum, L. B. (2000). Ptychopariid trilobites of the lower-middle Cambrian boundary interval, Pioche Shale, southeastern Nevada. *Journal of Paleontology*, 74(4), 604-630.
- Sundberg, F. A., & McCollum, L. B. (2003). Early and Mid Cambrian trilobites from the outer-shelf deposits of Nevada and California, USA. *Palaeontology*, 46(5), 945-986.
- Tolmacheva, T. (2006). Apparatus of the conodont Scolopodus striatus Pander, 1856 and a re-evaluation of Pander's species of Scolopodus. *Acta Palaeontologica Polonica*, 51(2), 247–260.

- Vachard, D., Clausen, S., Palafox-Reyes, J., Buitrón, B., Devaere, L., Hayart, V., & Régnier, S. (2017). Lower Ordovician microfacies and microfossils from Cerro San Pedro (San Pedro de la Cueva, Sonora, Mexico), as a westernmost outcrop of the newly defined Nuia Province. *Facies*, 63(18).
- Vega-Granillo, R. (1996). Geología de la Sierra de Mazatán. *Boletín del Departamento de Geología*, 13(1), 89-102.
- Vega-Granillo, R., & Araux, E. (1987). Estratigrafía del Paleozoico en el área del Rancho Las Norias, Sonora Central. *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 4(1), 41-50.
- Viira, V. (2011). Lower and Middle Ordovician conodonts from the subsurface of SE Estonia and adjacent Russia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 60(1), 1-21.
- Walcott, C. D. (1920). Cambrian geology and Paleontology IV: 06, Middle Cambrian Spongiae. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 67, 261-364.
- Webster, M. (2011). Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (Traditional Laurentian “lower Cambrian”) in the southern Great Basin, U.S.A. En M. of, J. S. Hollingsworth, F. A. Sundberg, & J. R. Foster (Edits.), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada* (Vol. 67, pág. 321).
- Williams, A., Carlson, S., Howard, C., & Brunton, C. (2000). Linguliformea. En C. H. Alwyn Williams, *Treatise On Invertebrate Paleontology Part H Brachiopoda Revised*. University of Kansas Paleontological Institute.
- Won, M., & Below, R. (1999). Cambrian Radiolaria from the Georgina Basin, Queensland, Australia. *Micropaleontology*, 45(4), 325-363.
- Xiao, S., Hu, J., Yuan, X., Parsley, R. L., & Cao, R. (2005). Articulated sponges from the Lower Cambrian Hetang Formation in southern Anhui, South China: their age and implications for the early evolution of sponges. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220(1), 89-117.
- Yang, J., Yu, S., Liu, G., Su, N., He, M., Shang, J., . . . Yan, G. (1993). Cambrian stratigraphy, lithofacies, paleogeography and trilobite faunas of East Qinling-Dabashan Mountains, China. (English, Ed.) 246.
- Young, G. (1973). An Ordovician (Arenigian) trilobite faunule of great diversity from the Ibex area, western Utah. *Brigham Young University Geology Studies*, 20(4), 91-115.
- Zeballo, F., Albanesi, G., & Ortega, G. (2005). Conodontes y graptolitos de las formaciones Alfarcito y Rupasca (Tremadociano) en el área de Alfarcito, Tilcara, Cordillera Oriental de Jujuy, Argentina. Parte 1: Bioestratigrafía. *Ameghiniana*, 42(1), 39-46.

Zhang, S. (2013). Ordovician conodont biostratigraphy and redefinition of the age of lithostratigraphic units on northeastern Melville Peninsula, Nunavut. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 50(8), 808-825.

Zhen, R., & Liu, J. (2010). The great Ordovician biodiversification in South China. *Darwin's Heritage Today*, (págs. 270-284).