

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
Departamento de Geología

**“Estudio Bioestratigráfico de conodontos del
Devónico del Cerro la Cueva, San Pedro de la
Cueva, Sonora, México (Centro de Sonora)”**

The seal of the University of Sonora is a circular emblem. It features a central shield with a sunburst at the top, a banner with the motto "TODO LO ILLUMINAN", and a torch at the bottom. The shield is surrounded by a wreath and the text "UNIVERSIDAD DE SONORA" and "1922".

TESIS

**Que para obtener el título de:
GEÓLOGO**

PRESENTA:

OMAR IGNACIO RAMOS MARTÍNEZ

HERMOSILLO, SONORA.

NOVIEMBRE DE 2016

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

Hermosillo, Sonora a 11 de octubre de 2016

DRA. SILVIA MARTINEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE SONORA
PRESENTE.-

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para el registro y aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

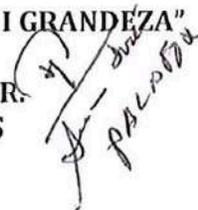
“Estudio Bioestratigráfico de conodontos del Devónico del Cerro la Cueva, San Pedro de la Cueva, Sonora, México (Centro de Sonora)”.

Lo anterior es con el fin de que el alumno Omar Ignacio Ramos Martínez con No. De Expediente 211205701, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

Asimismo, le informo que los revisores de dicha tesis, han sido los maestros M.C. Ismael Minjarez Sosa; M.C. Francisco Javier Cuen Romero.; la Dra. Pilar Navas-Parejo como Codirectora. Por lo mismo sugiera que incluyan como sinodales para este proceso de titulación.

En espera respuesta, quedo a usted.

ATENTAMENTE
“EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA”
Dr. Juan José Palafox R.
DIRECTOR DE TESIS



C.c.p. Interesado



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

"ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO DE CONODONTOS DEL DEVÓNICO DEL CERRO LA CUEVA, SAN PEDRO DE LA CUEVA, SONORA, MEXICO (CENTRO DE SONORA)"

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

OMAR IGNACIO RAMOS MARTÍNEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

Ismael Minjarez Sosa
M.C. ISMAEL MINJAREZ SOSA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

Francisco Javier Cuén Romero
M.C. FRANCISCO JAVIER CUÉN ROMERO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

Juan José Palafox Reyes
DR. JUAN JOSÉ PALAFOX REYES

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

Pilar Navas Parejo
DRA. PILAR NAVAS-PAREJO

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Silvia Martínez Retama
DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 12 de octubre, 2016

DR. JUAN JOSE PALAFOX REYES
DIRECTOR DE TESIS
DRA. PILAR NAVAS-PAREJO
CODIRECTORA
P R E S E N T E.-

Por este conducto, les comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Ustedes intitulado:

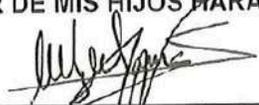
"ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO DE CONODONTOS DEL DEVÓNICO DEL CERRO LA CUEVA, SAN PEDRO DE LA CUEVA, SONORA, MEXICO (CENTRO DE SONORA)"

Esto es con el fin de que el alumno: **OMAR IGNACIO RAMOS MARTÍNEZ** con Expediente No. 211205701, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo les comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

PRESIDENTE	M.C. ISMAEL MINJAREZ SOSA
SECRETARIO	M.C. FRANCISCO JAVIER CUÉN ROMERO
VOCAL	DR. JUAN JOSÉ PALAFOX REYES
VOCAL	DRA. PILAR NAVAS-PAREJO

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"


DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO.



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGÍA

C.c.p. Archivo.

Dedicatoria

La presente tesis esta dedicada a mi familia que gracias por su apoyo pude concluir mi carrera.

A mis padres Ignacio Ramos Valenzuela y Margarita Martínez Duarte por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi vida. La confianza que depositaron en mi todo este tiempo, todo su apoyo moral los consejos en los momentos más difíciles, ahora mi logro es todo suyo también, darles gracias es poco decir por todo lo que han hecho este es su fruto.

A mis hermanas Pina e Ibeth por estar presentes siempre en todo momento dándome el apoyo necesario para salir adelante buscando y ofreciendo lo mejor para mi persona.

Dedicada también a mis tres sobrinos Italia, Diego y Qui.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por toda la ayuda brindada y facilitar el uso de las instalaciones.

Proyectos PAPIIT IN108614 (BECA), CONACyT 220368, FRANCIA-MEXICO ECOS 229494, CONACyT 235970 se agradece por el apoyo económico brindado para llevar a cabo el trabajo con la presente tesis.

Se agradece a la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la UNAM por facilitar el uso de las instalaciones, en especial el Laboratorio de Química y Micropaleontología para la disolución de las muestras.

Se agradece de forma muy especial a mi Director de Tesis, el Dr. Juan José Palafox Reyes, por sus conocimientos transmitidos a lo largo de este trabajo, gracias por toda la ayuda brindada, paciencia y la motivación para poder realizar esta tesis.

Un agradecimiento muy especial a mi Co-Directora, la Dra. Pilar Navas-Parejo, por todo el apoyo tan importante que me brindó durante este trabajo, como el tiempo que dedicó para ayudarme, todos sus consejos y aprendizaje dentro del ámbito de la bioestratigrafía que adquirí de usted y sobre todo muchas gracias por toda la paciencia que tuvo conmigo desde que se inició esta investigación.

Agradecimiento a la Geol. Adriana Aimée Orci Romero del Laboratorio de Laminación de la ERNO por la preparación de las láminas delgadas.

Gracias al Dr. Hannes Loeser por facilitar el uso del estereomicroscopio.

También se agradece al Dr. Juan Carlos García y Barragán por facilitar el uso del microscopio petrográfico de luz polarizada para los estudios de lámina delgada.

Se agradece también a mi compañera Dulce Raquel Reyes Montoya por ayudarme a clasificar parte de las láminas delgadas.

Se agradece al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) por facilitar el microscopio de electrónico de barrido para la realización de las microfotografías, en especial a la Dra. Cnd. Verónica Moreno Rodríguez y el Dr. Rafael del Río Salas.

ÍNDICE	
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS.....	3
METODOLOGÍAS DE TRABAJO	4
METODOLOGÍA DE CAMPO	4
METODOLOGÍA DE LABORATORIO	6
GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	9
LOCALIZACIÓN Y ACCESO	9
FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	11
CLIMA	12
ANTECEDENTES SOBRE LA GEOLOGÍA REGIONAL	14
ANTECEDENTES SOBRE LA GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	17
SECCIONES ESTUDIADAS: CERRO LA CUEVA	20
RESULTADOS	21
ESTRATIGRAFÍA	21
BIOESTRATIGRAFÍA DE CONODONTOS.....	35
PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA.....	37
CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 AFLORAMIENTOS PALEOZOICOS DE PLATAFORMA Y CUENCA EN SONORA	3
FIGURA 2 METODOLOGÍA PARA EXTRACCIÓN DE MICROFÓSILES.....	8
FIGURA 3 MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE LA CUEVA, SONORA.	10
FIGURA 4 SUBPROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DEL ESTADO DE SONORA, MÉXICO (INEGI 2009).....	13
FIGURA 5 MAPA GEOLÓGICO DE SAN PEDRO DE LA CUEVA	19
FIGURA 6 VISTAS DE SECCIONES DEL CERRO LA CUEVA.....	18
FIGURA 7 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA SECCION A-A.....	21
FIGURA 8 AFLORAMIENTO CON INTERCALACIÓN DE DOLOMÍAS NEGRAS Y GRISES.	22
FIGURA 9 FÓSIL DE BRIOZOARIO EN SECUENCIA DE DOLOMÍAS.....	23
FIGURA 10 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-1	24
FIGURA 11 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-22	25
FIGURA 12 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-22.....	26
FIGURA 13 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA SECCIÓN B-B.....	27
FIGURA 14 AFLORAMIENTO DE CALIZAS	28
FIGURA 15 CALIZA NEGRA BIOCLÁSTICA CON SYRINGOPÓRIDOS	29
FIGURA 16 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-29	30
FIGURA 17 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-29	31
FIGURA 18 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-35	32
FIGURA 19 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-35	33
FIGURA 20 FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA OMA-38	34

FIGURA 21 TÉRMINOS MORFOLÓGICOS DE CONODONTOS DEL GÉNERO <i>BISPATHODUS</i>.....	37
FIGURA 22 TÉRMINOS MORFOLÓGICOS USADOS DE CONODONTOS DEL GÉNERO <i>ICRIODUS</i>.....	38
FIGURA 23 TÉRMINOS MORFOLÓGICOS DE CONODONTOS DEL GÉNERO <i>POLYGNATHUS</i>.....	38
FIGURA 24 CONODONTOS DEL FAMENIANO DE LAS MUESTRAS DE LAS SECCIONES REALIZADAS.....	37
FIGURA 25 BIOZONAS DE CONODONTOS DEL FAMENIANO	47

RESUMEN

En este trabajo se presenta una descripción de dos secciones realizadas en el Cerro la Cueva en el municipio de San Pedro de la Cueva, Sonora, México. Las rocas estudiadas se colectaron de dos secciones muy próximas entre ellas. La primera sección (A-A´) está compuesta de conglomerado y caliza con abundantes fósiles. La segunda sección (B-B´) se caracteriza por una secuencia de caliza con nódulos de pedernal y abundantes fósiles. El estudio de las láminas delgadas indicó paleoambientes de depósito de plataforma somera. Los análisis de bioestratigrafía de conodontos permitieron datar ambas secciones como pertenecientes a la parte superior del Fameniense (Devónico tardío).

INTRODUCCIÓN

Las secuencias sedimentarias paleozoicas que se localizan en el Estado de Sonora se encuentran representadas por rocas carbonatadas y siliciclásticas que fueron depositadas en diferentes tipos de ambientes marinos someros y cuenca profunda (Fig. 1). Estos abarcan estratos que van del Cámbrico hasta el Pérmico y han sido estudiados en trabajos anteriores abarcando temas que van desde como se originó la secuencia, dando énfasis a los ambientes de depósito que las representan, como sus características paleontológicas, estratigráficas y estructurales (Dumble, 1900; King, 1939; Peiffer-Rangin, 1988; Stewart *et al.*, 1990; Poole *et al.*, 2005; entre muchos otros).

En el presente trabajo se revisan las investigaciones de algunos autores que realizaron estudios de secuencias sedimentarias paleozoicas en la región del centro de Sonora, que incluye la zona de estudio (Cerro la Cueva). Entre estos trabajos se encuentran Peiffer-Rangin (1988), Stewart *et al.* (1999), Almazán-Vázquez *et al.* (2007), Buitrón Sánchez *et al.* (2007), Gómez-Espinoza *et al.* (2008). El área más estudiada en dicha región corresponde a la Sierra Agua Verde, donde estos estudios pusieron de manifiesto una importante riqueza paleontológica. Se identificaron fósiles con interés bioestratigráfico como conodontos, foraminíferos, algas, corales, crinoides e insertae sedis. Estos fósiles permitieron datar la secuencia, que se encuentra constituida de rocas que van del Neoproterozoico hasta el Carbonífero, sin encontrarse el Silúrico. El trabajo más cercano al lugar de estudio fue realizado por Peiffer-Rangin (1988), quien describe afloramientos del Misisípico que formaron parte de una secuencia de rocas carbonatadas de plataforma que fueron datados por la presencia de fósiles.

En la zona de trabajo el único estudio que se ha realizado es la cartografía de la carta H12-D34 escala 1:50,000 del Servicio Geológico Mexicano (García Córtez y Hernández Morales, 2010).

Esta tesis de geología se enfoca en estudios estratigráficos y bioestratigráficos de la secuencia marina del Paleozoico de plataforma que aflora en el Cerro la Cueva (San Pedro de la Cueva, Sonora). Las dataciones paleontológicas se realizaron mediante conodontos, un grupo de animales extintos caracterizados por una serie de piezas mineralizadas llamadas elementos conodontales, que son los únicos elementos que fosilizan. Son los fósiles guía del Paleozoico y aparecen en prácticamente todas las facies marinas del Paleozoico y del Triásico. Además se realizaron estudios de lámina delgada para interpretar el medio de depósito y estudiar otros grupos de microfósiles. La presencia de diversos géneros de conodontos en las secciones estudiadas permitió datar la parte alta del Fameniense (Devónico superior) por primera vez en el área.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es aportar información sobre la geología del Cerro la Cueva. Para ello se plantearon una serie de objetivos secundarios que consisten en obtener información sobre las unidades estratigráficas que afloran en la zona, aportar información sobre el ambiente de depósito y por último datar las secuencias mediante fósiles, concretamente conodontos.

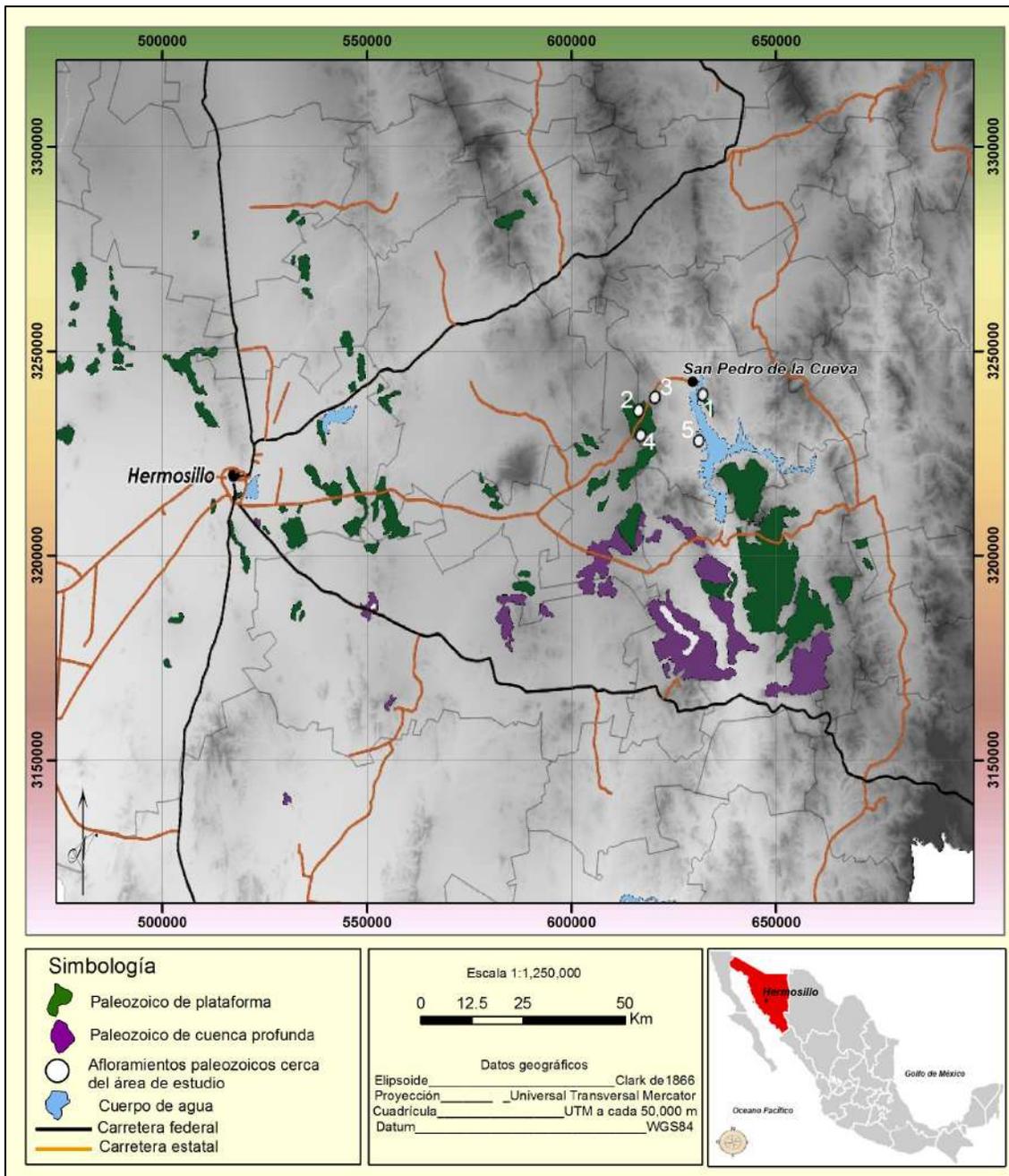


Figura 1. Afloramientos paleozoicos de plataforma y cuenca en Sonora (modificado de Navas-Parejo *et al.* 2015).

METODOLOGÍAS DE TRABAJO

METODOLOGÍA DE CAMPO

La metodología utilizada en esta investigación fue a base de la realización de secciones geológicas mediante mediciones con cinta métrica, haciendo muestreo de rocas para posteriormente tratarse en un laboratorio. Las herramientas utilizadas en dicho trabajo de campo son las que se mencionan a continuación:

Brújula: La brújula es una de las herramientas más importantes en la geología. Se usa entre otras cosas para definir la orientación de fracturas y estratos.

Cinta métrica: estas permiten realizar mediciones en cuanto a la extensión de un afloramiento, espesores de los estratos o las distancias entre los puntos (estaciones) de una poligonal.

Martillos de campo: Son empleados para extraer las muestras en campo, están hechos de acero reforzado, forjadas en una sola pieza y recubiertos en su empuñadura por nylon con revestimiento especial que reduce los impactos de los golpes.

Lupa: Una herramienta importante en la geología. Lupas "profesionales" se caracterizan por una excelente óptica. Generalmente tienen un aumento entre 10X y 15X. Se usa la lupa para identificar minerales, fósiles y texturas en las rocas.

Libreta de campo: La libreta de campo - siempre - siempre hay que hacer apuntes en terreno. Lo observado tiene que reflejarse en el mismo momento en la libreta: Dibujos, textos, mediciones con la brújula o la cinta métrica, etc.

Químicos: Así como la navaja, estos nos ayudan a realizar ciertas pruebas en el campo. Por ejemplo el ácido clorhídrico permite identificar fácilmente los materiales calcáreos, o el agua oxigenada que determina la presencia de materia orgánica.

Plumones: Estos son de gran importancia ya que son utilizados para poder rayar y marcar las muestras de rocas que son tomadas de los afloramientos, o bien marcar el afloramiento para ver donde fue tomada la muestra.

Bolsas plásticas gruesas: Estas se usan para recolectar las muestras ya que el grosor del plástico es más duro que una bolsa convencional, para no permitir que pueda romperse por los lados angulosos de la roca.

GPS: El "GPS" es una herramienta importante durante trabajos en terreno. Permite ubicarse en pocos segundos con un margen de error bastante pequeño.

Listón de reconocimiento: Es un listón de color llamativo, el cual facilita el reconocimiento a distancia para próximas visitas al mismo lugar y saber a qué altura se tomó la roca o se encontró algo importante.

Lentes de protección: Estos son de gran importancia en cuestiones de seguridad, ya que al golpear la roca con los martillos, salen pequeños fragmentos a grandes velocidades y en todas direcciones.

METODOLOGÍA DE LABORATORIO

La metodología de laboratorio consistió en el tratamiento con ácidos de las muestras de rocas calizas para obtener conodontos. El procedimiento que se siguió corresponde a una versión ligeramente modificada del protocolo publicado por Jeppsson *et al.* (1999) (Fig.2).

Paso 1. Fragmentación y peso

El primer paso es tomar muestras de roca caliza en la sección de estudio, con un peso aproximado de 1.5 kg, para luego romperla en pedazos pequeños de aproximadamente 3-5 cm. Posteriormente se pesan en una balanza con un peso total de 1.35 kg por muestra, separando 0.675 kg por cubeta. Con esto se facilita el trabajo y se evita manipular un recipiente más grande con la disolución de ácido fórmico que se usará.

Paso 2. Disolución de muestras

Los recipientes con los fragmentos de muestra se colocan dentro de una campana de extracción de humos. Se vierten 7.2 litros de agua por recipiente y 700 ml de ácido fórmico (CH_2O_2).

Al verter el ácido fórmico comienza la disolución de la caliza (CaCO_3) y se deja en reposo en la campana durante 24 horas. Esta disolución de ácido fórmico al 7% disolverá la parte carbonatada de la roca y como los elementos conodontales son de fosfato cálcico resistirán el ataque ácido. No obstante, no debe pasarse de este tiempo para que los elementos conodontales no sufran disolución parcial o total.

En muestras que no tenían el peso adecuado las cantidades tanto de ácido fórmico como de agua se ajustaron dependiendo el peso que tuviera la muestra.

Paso 3. Lavado y extracción

A continuación después de las 24 horas sigue el lavado y la extracción de los residuos por medio de 3 tamices de 1mm, 0.6mm y 0.125mm en los que se vierte todo el residuo que queda en los recipientes. A continuación se recogen los fragmentos grandes que no se disolvieron del tamiz más grueso para pesarlo y de esta manera saber cuanta porción de la roca caliza se disolvió. Después comienza el lavado de los 2 tamices más finos que son los que contienen el residuo que contendrá potencialmente los elementos conodontales. Tras lavar bien los residuos, se coloca el material en unos crisoles. Como paso final, se ponen en un lugar seco hasta que no tengan humedad, para pasarlos al frasco donde se trabajará en el microscopio. Al continuar con la siguiente muestra es muy importante mencionar que los tamices deben de lavarse sin que quede ninguna partícula atrapada en la luz de malla, sobre todo el tamiz más fino ya que podría

contaminar las muestras siguientes. Para esto este se pone en un baño de ultrasonidos que por medio de ondas sónicas en el agua se encarga de limpiar el material, además de limpiarlos con aire comprimido.

Paso 4. Observación y extracción de microfósiles

Como último paso para la extracción de los elementos conodontales se usa un microscopio binocular. Para ello se vierte el residuo seco en un recipiente con reticulado centimétrico y cuando se encuentra un elemento conodontal se retira usando un pincel de punta muy fina mojado con agua. Así se queda pegado en las fibras del pincel y se almacena en una celdilla de microfósiles para su posterior clasificación.

Paso 5. Determinación taxonómica y fotografiado con Microscopio Electrónico de Barrido

Una vez se tienen los elementos conodontales recuperados de la muestra se procede a su determinación. Para ello se observan las características distintivas de cada elemento, se realiza la diagnosis y se comparan con otros similares publicados en literatura científica. Posteriormente se colocan en unos pequeños tambores con pegatina de carbono para introducirlos en el Microscopio Electrónico de Barrido y realizar las microfotografías.

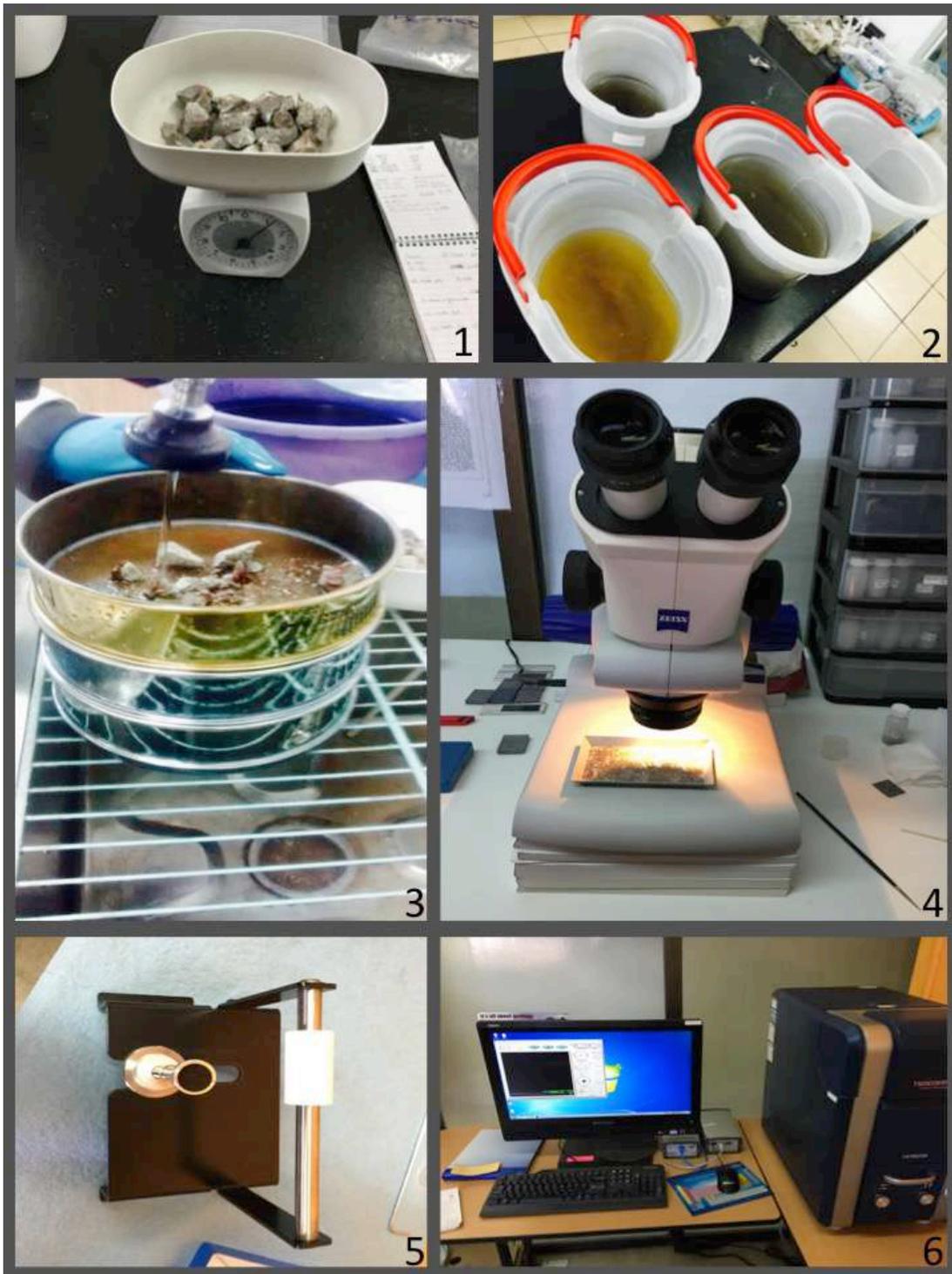


Figura 2. Metodología para extracción de microfósiles, 1. Fragmentación y peso; 2. Disolución de muestras en mezcla de ácido y agua; 3. Lavado y extracción de residuo; 4. Observación y extracción de conodontos; 5. Colocación de conodontos en tambores con pegatina de carbono; 6. Fotografía mediante microscopio electrónico de barrido.

GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El Cerro la Cueva se localiza en la parte central de Sonora, a 180 km al noroeste de la ciudad de Hermosillo. La vía de acceso principal se encuentra sobre la carretera Hermosillo-San Pedro de la Cueva pasando primero por el municipio de Mazatán, después Nácori y finalmente Mátape.

El área de estudio se encuentra en el municipio de San Pedro de la Cueva, Sonora México (Fig. 1, 3). Dicho municipio colinda al norte con los municipios de Moctezuma y Tepache; al este con los municipios de Tepache, Sahuaripa y Bacanora; al sur con los municipios de Bacanora y Soyopa; al oeste con los municipios de Soyopa, Villa Pesqueira, Baviácora y Moctezuma, contando con 145 localidades y una población total de 1429 habitantes aproximadamente (INEGI 2009).

Las secciones estudiadas se encuentran en las coordenadas 29°17'7.64" latitud N y 109°42'44.25" longitud W (Sección A-A´) y 29°17'10.80" latitud N y 109°43'1.63" longitud W (Sección B-B´).

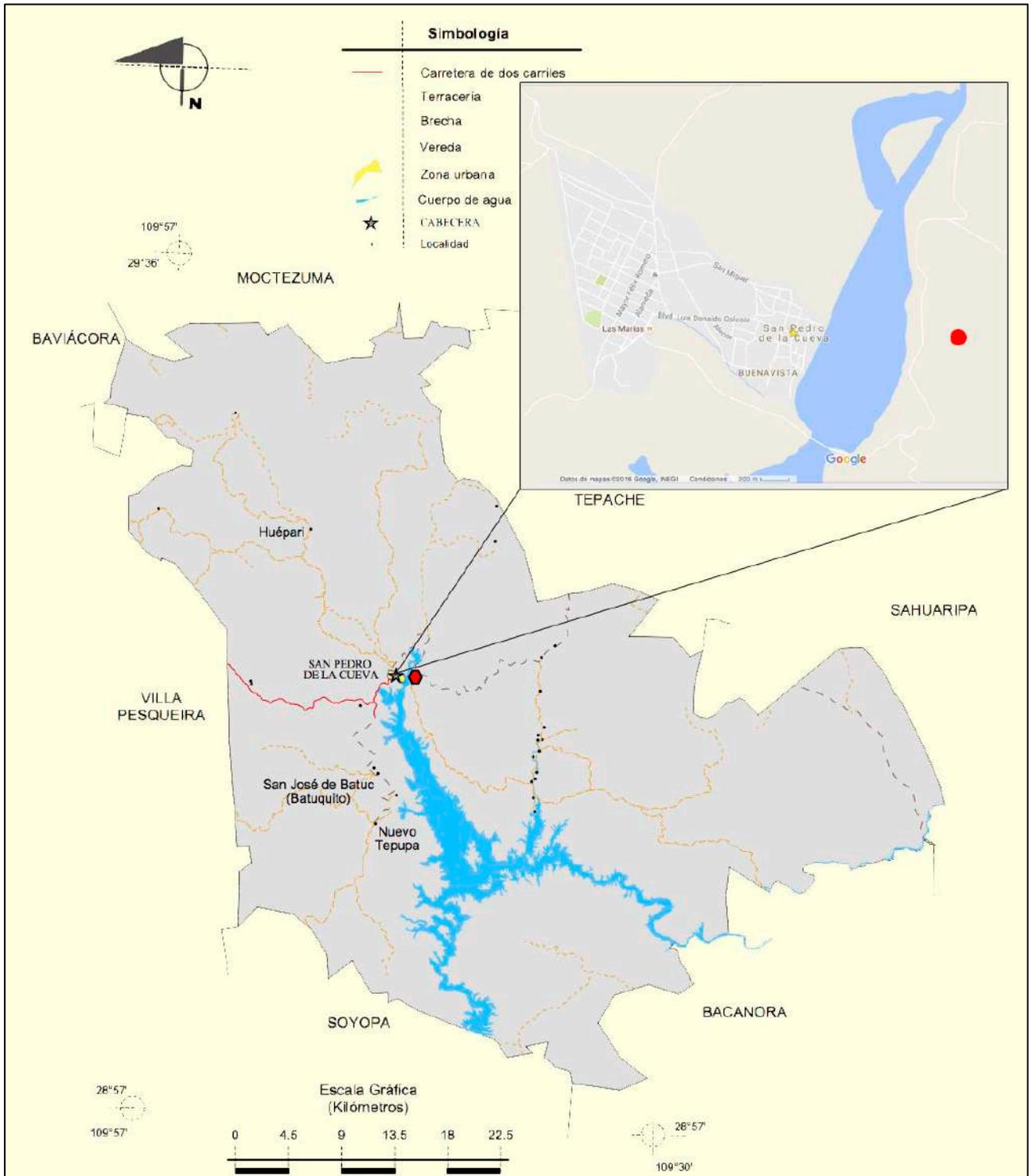


Figura 3. Municipio de San Pedro de la Cueva, Sonora, el punto rojo muestra la ubicación del área de estudio (Cerro la Cueva) (modificado de INEGI 2009).

FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El área se encuentra dentro de la provincia Sierra Madre Occidental (Fig. 4) que está formada en su mayor parte por rocas ígneas extrusivas. Se extiende cerca de la costa occidental de la República Mexicana, con una dirección noreste-sureste. Se inicia 50 km al sur del límite internacional con los Estados Unidos de América para terminar en el río Santiago en Nayarit y el Eje Neovolcánico. En su porción norte está más separada de la costa (300 km); en cambio en el sur reduce su anchura y se aproxima más al mar. Su altura media es de 2,250 msnm. Por su continuidad, sirve de barrera occidental a la Mesa del Centro (INEGI 2008).

Las subprovincias en las que se encuentra el área de estudio es Sierras y Valles del Norte (67.13%) y Sierras y Cañadas del Norte (32.87%).

Subprovincia Sierras y Valles del Norte. El área que cubre la Subprovincia en territorio sonorense es de 32,688.84 km². Abarca totalmente los municipios de: Cucurpe, Arizpe, Cumpas, Huásabas, Bacoachi, Banámichi, Huépac, San Felipe de Jesús, Aconchi, Baviácora, Moctezuma, Granados y San Javier; además incluye parte de los de: Nogales, Ímuris, Cananea, Fronteras, Nacozari de García, Villa Hidalgo, Opodepe, Rayón, Divisaderos, Tepache, San Pedro de la Cueva, Villa Pesqueira, Soyopa, La Colorada, Cajeme y Rosario.

Esta región está formada principalmente por sierras entre las cuales se localizan amplios valles paralelos con orientación norte-sur. La altitud de los sistemas montañosos decrece hacia el sur, de tal forma que al este de Cananea se localiza la mayor altitud, con 2620 msnm; al Norte de Mazocahui gran parte de las elevaciones exceden los 1000 msnm, mientras que al sur de esta población la mayoría de las cimas quedan por abajo de esa altitud (Morales Morales 2012)

En las sierras dominan las rocas volcánicas ácidas, sin embargo, un cuerpo ígneo intrusivo aflora desde la sierra Los Locos hasta Mazatán y Nacori Grande, pasando por Mazocahui. En los valles abundan los materiales sedimentarios continentales (conglomerados del Terciario). En los valles ubicados al occidente fluyen los ríos San Miguel de Horcasitas y Sonora; mientras que el Moctezuma y el Bavispe, ambos afluentes del Yaqui, corren por los valles orientales.

Subprovincia de Sierras y Cañadas del Norte. Esta subprovincia abarca los municipios de Agua Prieta, Arivechi, Bacadehuachi, Bacanora, Bacerac, Bavispe, Divisaderos, Onavas, Granados, Huachinera, Huasabas, Nacozari de García, Nacori Chico, Rosario, Sahuaripa, San Pedro de la Cueva, Soyopa, Tepache, Villa Hidalgo y Yecora.

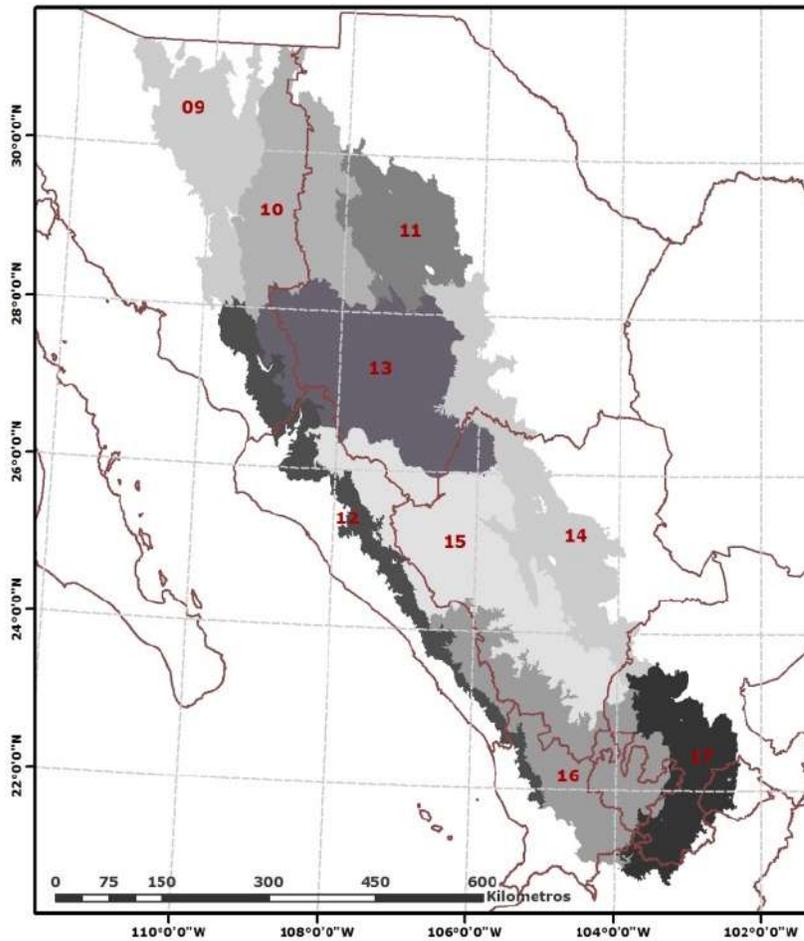
Está constituida por sierras en las que dominan las rocas volcánicas ácidas, pero hay también grandes franjas basálticas burdamente orientadas norte-sur. La morfología es de sierra de laderas escarpadas, clasificada fisiográficamente como

sierra alta con cañadas, único sistema de topoformas en la entidad conformado por las sierras San Luis, Hachita Hueca y La Breña, entre otras. En Chuhuichupa y Barrio Chihuahuita, a unos 2400 msnm, se presenta la morfología de meseta, pero por su tamaño no es representada en el mapa de regionalización fisiográfica. Las corrientes que drenan esta zona son: Sirupa, Tutuaca y Río Chico, afluentes del Río Aros; Chuhuichupa, tributario del río Bavispe; y San Pedro y Piedras Verdes, que se originan en esta subprovincia y fluyen hacia las Llanuras y medanos del norte (INEGI 2003).

CLIMA

El 48% del Estado de Sonora presenta clima seco y semiseco localizado en la Sierra Madre Occidental, el 46.5% presenta clima muy seco, localizado en las Llanuras Costera del Golfo y Sonorense, el 4% es templado subhúmedo se encuentra hacia el este del estado y el restante 1.5% presenta clima cálido subhúmedo localizado hacia el sureste (INEGI 2009).

En el municipio de San Pedro de la Cueva el promedio de la temperatura es de 16-26°C, con un rango de precipitación entre 500 y 700 mm. Los tipos de climas en la región son semiseco semicálido (54.10%), seco muy cálido y cálido (35.81%), semiseco templado (4.44%), semiseco muy cálido y cálido (3.62%) y templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (2.03%) (INEGI 2009).



SUBPROVINCIAS FISIográfICAS

- 09, SIERRAS Y VALLES DEL NORTE**
- 10, SIERRAS Y CAÑADAS DEL NORTE**
- 11, SIERRAS Y LLANURAS TARAHUMARAS**
- 12, PIE DE LA SIERRA**
- 13, GRAN MESETA Y CAÑONES CHIHUAHUENSES**
- 14, SIERRAS Y LLANURAS DE DURANGO**
- 15, GRAN MESETA Y CAÑADAS DURANGUENSES**
- 16, MESETAS Y CAÑADAS DEL SUR**
- 17, SIERRAS Y VALLES ZACATECANOS**

Figura 4. Subprovincias fisiográficas de parte del noroeste de México, incluyendo Sonora (INEGI 2009).

ANTECEDENTES SOBRE LA GEOLOGÍA REGIONAL

El Paleozoico del estado de Sonora incluye rocas que abarcan desde el Cámbrico hasta el Pérmico. Este Paleozoico se puede dividir en cuatro grupos de facies con distintas afinidades paleogeográficas y ambiente deposicional (Stewart y Poole 2002): cobertera del cratón de Norte América (cratonal cover), al NE del estado; plataforma carbonatada (shelf; conocido en la literatura antigua como *miogeoclinal*), al NW y en el centro del estado; cuenca profunda (deep-water; conocido en la literatura antigua como *eugeoclinal*); por último, al sur de Sonora afloran una serie de rocas que han sido identificadas como Paleozoico por algunos autores (p.e. Angermann 1904; King 1939) aunque otros consideran que esos afloramientos son de edad mesozoica (Stewart y Poole 2002). Las secciones que se han estudiado para este trabajo pertenecen a las facies de plataforma carbonatada (Fig. 1).

Cerca del área de estudio, la zona más estudiada con anterioridad por otros autores es la Sierra Agua Verde (Fig. 1, localidad 2), localizada a unos 15 km al WSW del Cerro la Cueva y a unos 100 km al ENE de Hermosillo. Contiene una de las secuencias de plataforma interna del Paleozoico más completas del estado de Sonora e incluye estratos del Neoproterozoico al Pensilvánico. Peiffer-Rangin (1988) estudió el Cerro Tuntunude, en el flanco norte de la Sierra (Fig. 1, localidad 3). Stewart *et al.* (1984) describieron una secuencia detrítica del Cámbrico y el Ordovícico inferior que correlacionaron con las rocas detríticas y carbonatadas de plataforma del área de Caborca (NW de Sonora). Posteriormente, Stewart *et al.* (1999) realizaron estudios estratigráficos y bioestratigráficos que abarcaron desde el Neoproterozoico hasta el Pensilvánico. Más recientemente, Almazán-Vázquez *et al.* (2007), Buitrón-Sánchez *et al.* (2007, 2008) y Gómez-Espinosa *et al.* (2008) realizaron estudios paleontológicos, todos enfocados al periodo Pensilvánico (Carbonífero superior) en el área de La Joya, dentro de la Sierra Agua Verde. Recientemente (Navas-Parejo *et al.* 2015a y b) se ha datado el límite Misisípico-Pensilvánico mediante conodontos en esta misma sección La Joya. Martínez-Pérez *et al.* (2016) describen por primera vez restos de condriictios (tiburones) en el norte de México, procedentes de la misma sección La Joya.

Peiffer-Rangin (1988) describió en el Cerro Tuntunude (Fig. 1, localidad 3) una secuencia, que interpreta como de tipo plataforma con alguna influencia detrítica, de unos 100 m de potencia, donde encuentra corales de edad Viseano (Misisípico temprano) y restos de crinoides.

Stewart *et al.* (1999) realizaron estudios bioestratigráficos que se basaron en la identificación de fósiles como conodontos, foraminíferos, algas, corales e *insertae sedis*. La secuencia está comprendida en 3700 m aproximadamente y abarca prácticamente toda la Sierra de Agua Verde. La base de la secuencia está constituida de cuarcitas, limolitas y dolomías del Neoproterozoico y Cámbrico inferior. Siguiendo con una secuencia de rocas carbonatadas y limolitas que van

del Cámbrico medio al Cámbrico superior. A continuación se tienen dos unidades del Ordovícico inferior de rocas carbonatadas; estas se encuentran cubiertas discordantemente por cuarcitas y areniscas del Devónico Superior (Frasniano y Faméniano). Estos niveles se encuentran sobreyacidos por una unidad de carbonatos del Devónico Superior con 82 m espesor y del Misisípico de 785 m. La unidad que se encuentra en la parte más alta comprende rocas carbonatadas del Pensilvánico Inferior y Medio (Morroviario y Atokano) con 688 m de potencia aproximada.

Almazán-Vázquez *et al.* (2007) se centraron en los niveles con chaetétidos (corales tabulares) de la formación La Joya, de edad pensilvánica, que aflora en el Cerro La Joya. La formación La Joya tiene aproximadamente 100 m de espesor y está formada por rocas principalmente carbonatadas como calizas bioclásticas. Las principales rocas fosilíferas son capas de caliza con nódulos de pedernal. Estos chaetétidos de la Sierra Agua Verde se comparan con las acumulaciones de Arizona, Texas, Kansas y Nevada (EE.UU.), y la Cordillera Cantábrica (España). Aunque los biotipos son ligeramente diferentes, se relaciona con Arizona y Texas ya que se conectaron en un solo dominio tectono-estratigráfico.

Buitrón Sánchez *et al.* (2007 y 2008) estudiaron las encrinidas de la formación La Joya del Pensilvánico Medio. Las capas crinoidales constituyen un buen ejemplo de encrinida regional. Las formas que encontraron son típicas del Atokano tardío. Los crinoides indican la presencia de substrato duro donde colonizaron, y eran probablemente el substrato a su vez para otros organismos. El alto grado de silificación de los crinoides indica que posiblemente se relacionaron con organismos silíceos. Indican que los crinoides de la parte central de Sonora son similares a los que aparecen en Kansas y Texas, confirmando el cierre de la conexión paleogeográfica del sureste de EE.UU. y el noroeste de México durante el Pensilvánico.

Gómez-Espinosa *et al.* (2008) hace referencia a afloramientos que se encuentran en la Sierra Agua Verde y el Cerro El Tule (NE de Sonora). El objetivo principal de ese trabajo fue describir las asociaciones fósiles del Pensilvánico con énfasis en las algas calcáreas y foraminíferos, y los ambientes de depósito de los carbonatos que los contienen. Los carbonatos bioclásticos pensilvánicos se clasifican en wackestone y packstone, de foraminíferos pequeños y algas calcáreas. El Atokano tardío en la Sierra Agua Verde se correlaciona con los afloramientos de roca caliza recristalizada del centro de Texas en los que se encontraron varios géneros de fusulínidos.

Navas-Parejo *et al.* (2015a y b) describen una fauna rica en conodontos en la sección La Joya. La presencia de varias especies de los géneros *Taphrognathus*, *Cavusgnathus*, *Adetognathus* y *Declinognathodus* pone de manifiesto el registro del límite entre el Misisípico y el Pensilvánico en esta sección.

Martínez-Pérez *et al.* (2016) reportan por primera vez la presencia de restos de condrictios en la Sierra Agua Verde, los cuales corresponden también con el primer registro de este grupo en el norte de México. La fauna encontrada tiene una importante diversidad a nivel de familia que pone de manifiesto una compleja paleocomunidad de condrictios.

ANTECEDENTES SOBRE LA GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio (Fig. 1, localidad 1) no se recabó información ya que no había estudios hechos en el lugar, solo en los cerros que están cercanos al área. Peiffer-Rangin (1988) estudió localidades cercanas como el Cerro el Azogue (Cerro San Pedro, Fig. 5), el Puerto de Mátape (Fig. 1, localidad 4) y Cerro Tepupa (Fig. 1, localidad 5).

La sección que Peiffer-Rangin (1988) realizó en el Cerro el Azogue fue de aproximadamente 270 metros alrededor del escarpe con rumbo N-S. Este afloramiento se encuentra cortado por fallas NW-SE y en los flancos orientales se encuentra discordante con rocas terciarias. Los primeros 50 metros se tiene caliza de grano muy fino presentando estructuras nodulares, los fósiles son diversos pero escasos como placas columnares de crinoides, braquiópodos, syringopóridos, ostrácodos y fragmentos de briozoarios. Más adelante 40 metros de limolitas donde se encontraron fósiles como braquiópodos y corales; en las microfacies se encontraron placas columnares de crinoides y briozoarios. Este tipo de fauna indicaba edad del Turnesiano (Misisípico Temprano). A continuación se tienen 65 metros de calizas de grano fino a medio donde se encontraron braquiópodos, crinoides, corales de diferentes especies y microfauna como esponjas y foraminíferos, que al identificarlos dieron edad del Viseano (Misisípico Medio). Los 75 metros restantes son de calizas intercaladas con capas de dolomita, donde en la parte superior se encuentra de manera discordante un conglomerado con clastos angulares de rocas calizas y areniscas del Paleozoico. Otro conglomerado se encuentra en la parte superior en discordancia angular, compuesto de clastos de cuarcitas, tobas con matriz roja. La secuencia del Cerro el Azogue que va desde el Turnesiano al Viseano representa una secuencia de plataforma con afinidades detríticas, que podría representar la base de los estratos depositados en el Misisípico. Se caracteriza por turbiditas en la base de la secuencia, que atestiguan inestabilidad del ambiente de depósito.

Otro de los cerros cercanos previamente estudiados se encuentra en el Puerto de Mátape (Fig. 1, localidad 4). Se localiza en la carretera entre Mátape y el Novillo en la parte sur de la Sierra Agua Verde, en los flancos SW (Peiffer-Rangin, 1988). Las rocas de la base del afloramiento se encuentran recrystalizadas, presentando cortes de una intrusión granítica a través de la secuencia. El buzamiento de las capas tiene una inclinación de 30° NW. El comienzo de la secuencia presenta capas recrystalizadas de calizas grises presentando crinoides en mal estado; 75 metros más de la secuencia se tienen de areniscas calcáreas azoicas en el comienzo de color rosado que presenta abundante óxido de hierro que es similar a la hematita encontrada en el Puerto el Orégano (Sierra San Juan de Dios). A continuación, 60 metros de biodetritos de calizas negras con areniscas de grano grueso a fino. Aquí se encontraron fósiles como placas columnares de crinoides y corales de varias especies importantes, así como algunos braquiópodos no identificados. Progresivamente, estas calizas gradan hacia arriba a una caliza arenosa azoica con

un cemento de grano grueso carbonato de color rosado a rojo. Aparentemente en concordancia, afloran 50-60 m de calizas con pedernal y arenisca estratificado y plegado sinsedimentariamente. Al tope se encuentran unas calcarenitas de grano grueso con lentes arenosas. La secuencia está constituida principalmente de rocas carbonatadas de plataforma. Los diferentes fósiles encontrados indican una edad del Viséano (Misisípico Medio) (Vachard com. oral.)

En el Cerro Tepupa (Fig. 1, localidad 5), localizado a unos 10 km al sur del área estudiada en el presente trabajo, Peiffer-Rangin (1998) estudió un pequeño afloramiento limitado por fallas NW-SE y NE-SW, en el que se encontraron rocas Paleozoicas del Misisípico. Los fósiles encontrados fueron placas de crinoides y braquiópodos.

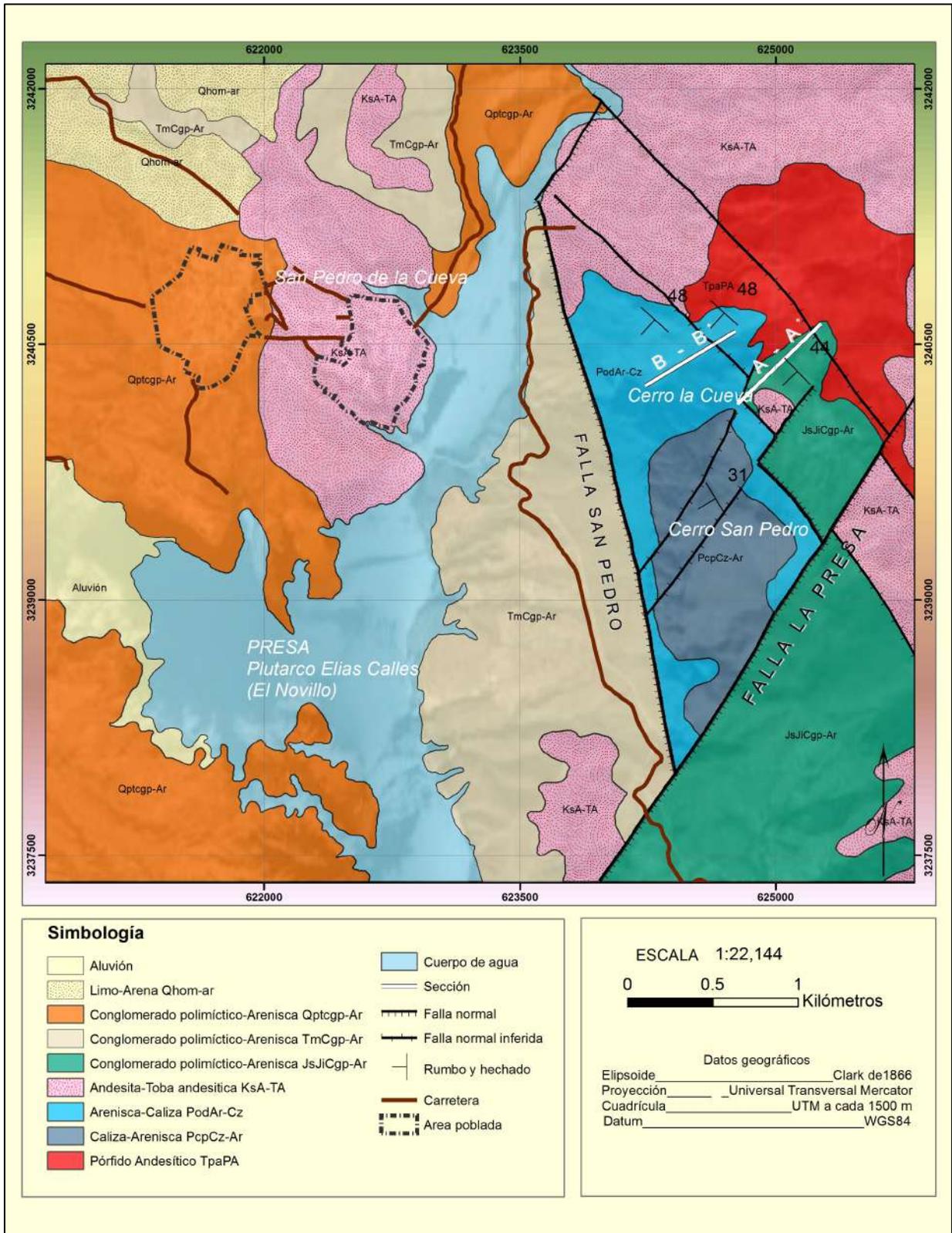


Figura 5. Mapa geol3gico de San Pedro de la Cueva (modificado del Servicio Geol3gico Mexicano, hoja H12-D34), con localizaci3n de las secciones estudiadas.

SECCIONES ESTUDIADAS: CERRO LA CUEVA

Las secciones estudiadas se sitúan al este del pueblo de San Pedro de la Cueva, Sonora. Ambas se encuentran ubicadas en el Cerro la Cueva (Figs. 5 y 6). La primera sección (A-A´) tiene un espesor de 400 metros e inicia en las coordenadas UTM 625082 E y 3240300 N, con un rumbo de sección 62° SW. La segunda sección (B-B´) con 80 metros de potencia, se hizo al costado NE del Cerro la Cueva e inicia en las coordenadas UTM 624612 E y 3240392 N. La dirección de los estratos es 44° NW con un ángulo de inclinación de 36° hacia el SW.

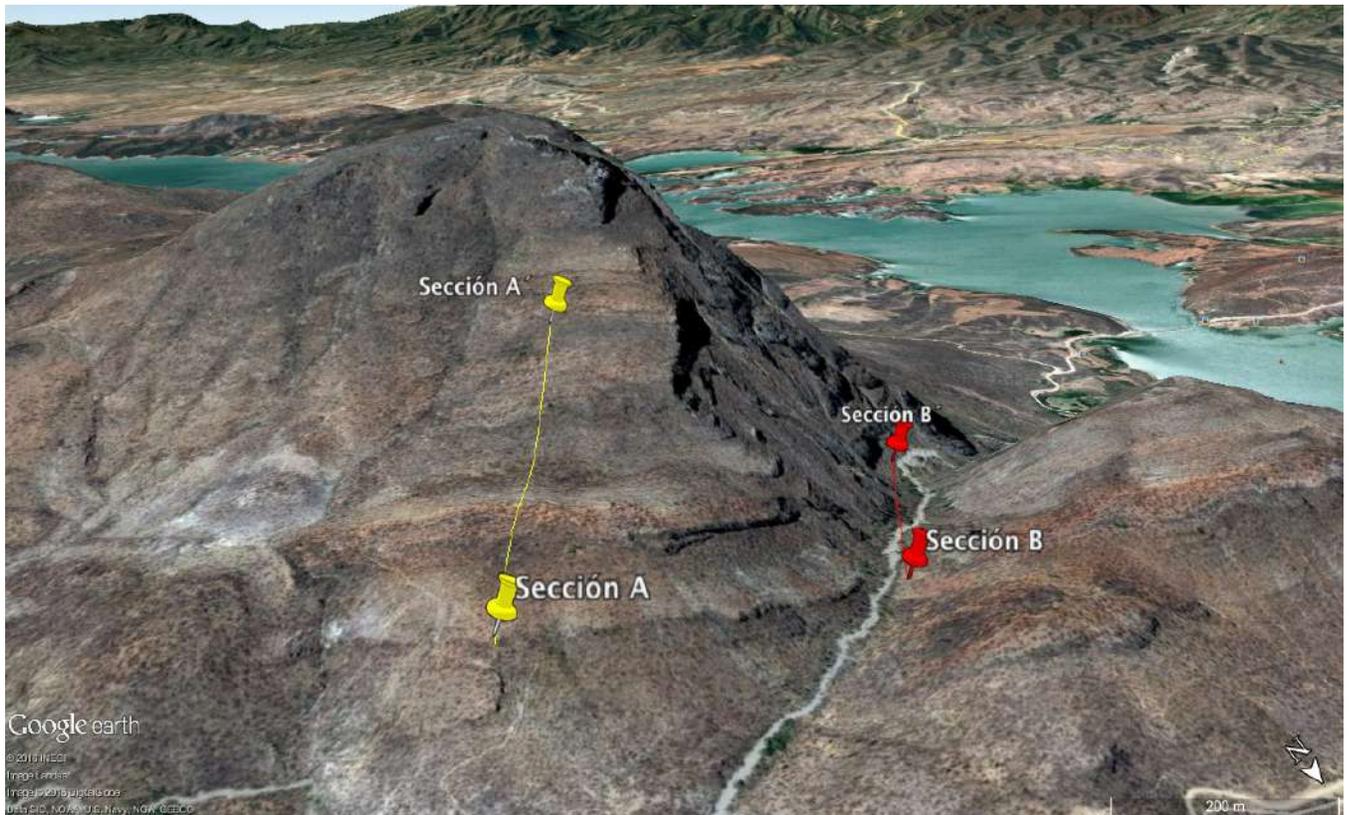


Figura 6. Vistas de las secciones estudiadas, de norte a sur (vista de Google Earth).

RESULTADOS

ESTRATIGRAFÍA

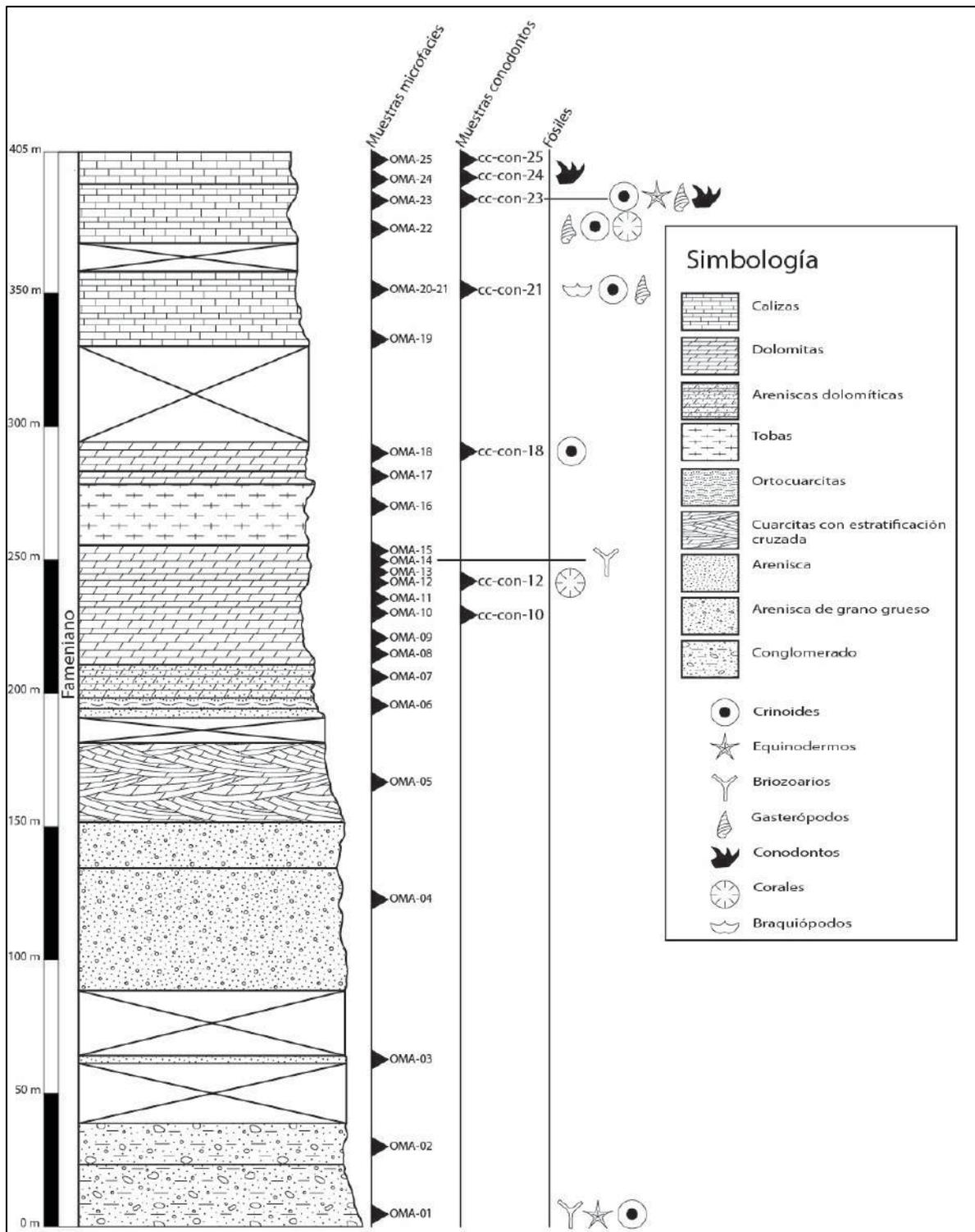


Figura 7. Columna estratigráfica de la sección A-A con localización de las muestras que se tomaron para lamina delgada y especímenes fosilíferos.

SECCIÓN A-A' (Fig. 7)

En los primeros 45 metros aproximadamente de la sección, se presenta un conglomerado de color gris oscuro compuesto de clastos de arenisca y caliza, con un tamaño de 3-5 cm, subredondeados, mal clasificados, matriz arenosa presentándose en estratos masivos tectonizados, con una serie de vetillas de calcita. En lámina delgada se clasificó como grainstone con intraclastos con oolitos. También se vió que está compuesta en partes por esparita y microesparita en toda la lámina. Además se observaron microfósiles como placas de equinodermos y equinodermos completos, crinoides y corales (Fig. 10). Se presentan estilolitos.

Sobre el conglomerado se presenta una arenisca. La arenisca tiene color a la intemperie gris-café y rosado en corte fresco. Se presentan estratos que van de medianos a masivos, muy mal expuestos. Presenta una textura de grano grueso y estructuras de estratificación cruzada con fracturamiento. En lámina delgada se clasificó como una arenisca de cuarzo. Con cemento calcáreo granos sostenidos, subredondeados y moderadamente clasificados.

Sobre la secuencia anterior se presenta una serie de dolomías con color a la intemperie gris y fractura fresca negra a rojizo. Las dolomías en el afloramiento se intercalan con unas de color blanco a la intemperie en la secuencia (Fig. 8).



Figura 8. Afloramiento con intercalación de dolomías negras y grises.

Estas dolomías se presentan en estratos medianos con tamaño de cristales de medianos a gruesos. Se encontraron restos de syringopóridos en el techo del estrato junto con fósiles de briozoarios (Fig. 9). En lámina delgada se clasificó como una dolomía con cristales muy pequeños y abundantes manchas de oxidación y presencia de vetillas de calcita. No se encontraron microfósiles en lámina delgada.



Figura 9. Fósil de briozoario en secuencia de dolomías.

Sobre las dolomías se encontró una toba volcánica. El color a la intemperie es anaranjado claro y en roca fresca blanco rosado. Se pueden observar granos finos de ceniza en la roca. El afloramiento se encontraba muy fracturado y presentaba muchas manchas de oxidación.

Sobreyaciendo a las tobas se presenta una secuencia de calizas de 85 metros de espesor aproximadamente que van hasta el final de la sección A-A'. El color a la intemperie es gris-negro y en roca fresca negra oscura. Los estratos aparecen bien expuestos y van de medianos a masivos muy fracturados. Presentan abundancia de bioclastos y fósiles como braquiópodos, crinoides, briozoarios y restos muy abundantes de gasterópodos. Presentan manchas de oxidación con vetillas de calcita y sílice cortando en varias direcciones. En lámina delgada se clasificó como una caliza packstone con una matriz de micrita predominante y con presencia de placas de crinoides muy bien preservados, equinodermos, braquiópodos, gasterópodos y corales coloniales del género *Hexagonaria*. También se observaron estructuras de estilolitos (Figs. 11 y 12).

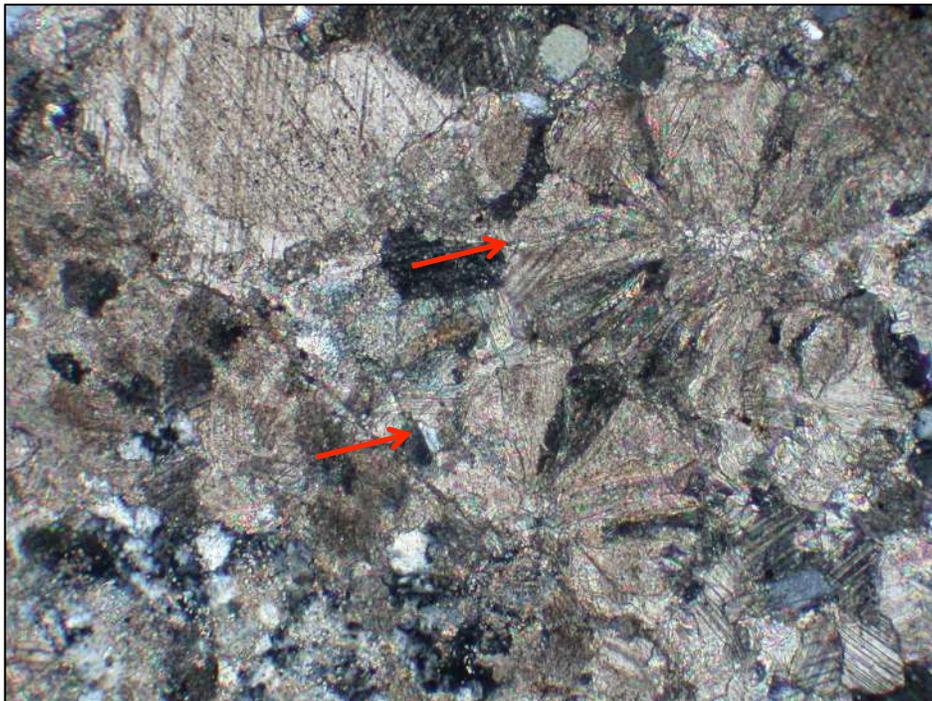
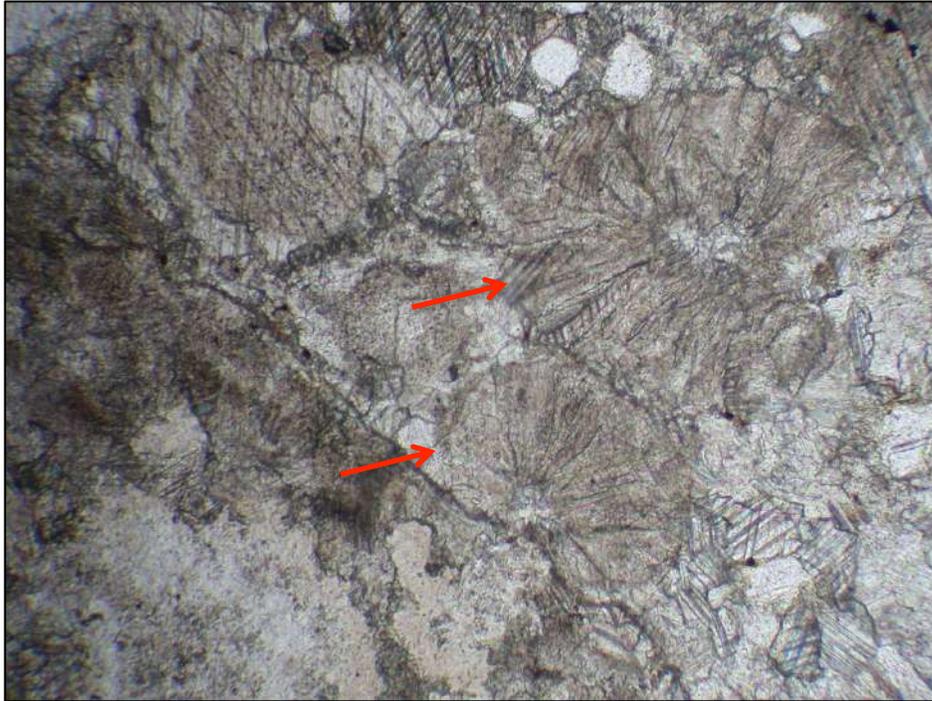


Figura 10. Fotomicrografía de la muestra OMA-1. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. Se pueden observar varios equinodermos indicados por las flechas rojas.

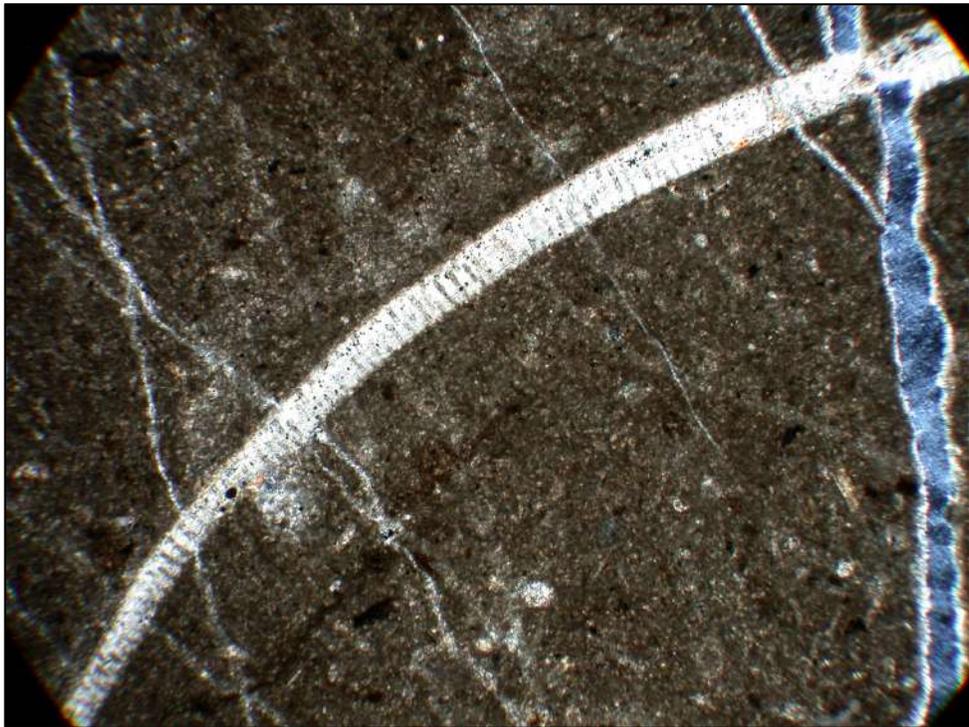


Figura 11. Fotomicrografía de la muestra OMA-22. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. En luz natural se puede ver la presencia del pedúnculo de un crinoide bien preservado cortado por una microfalla.

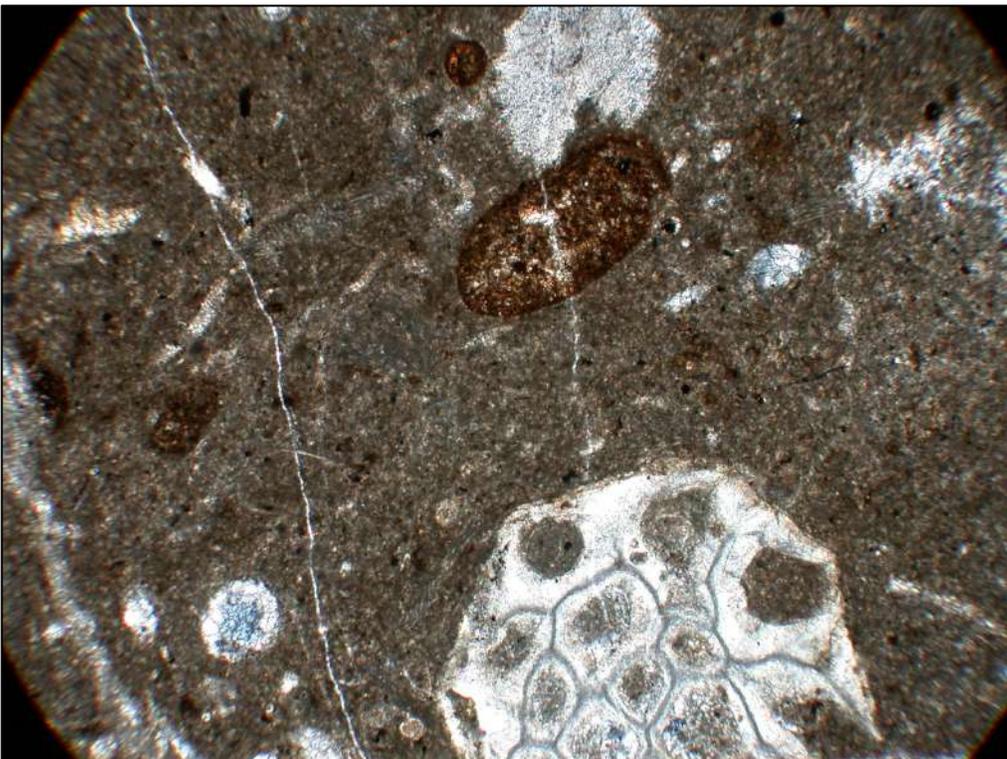
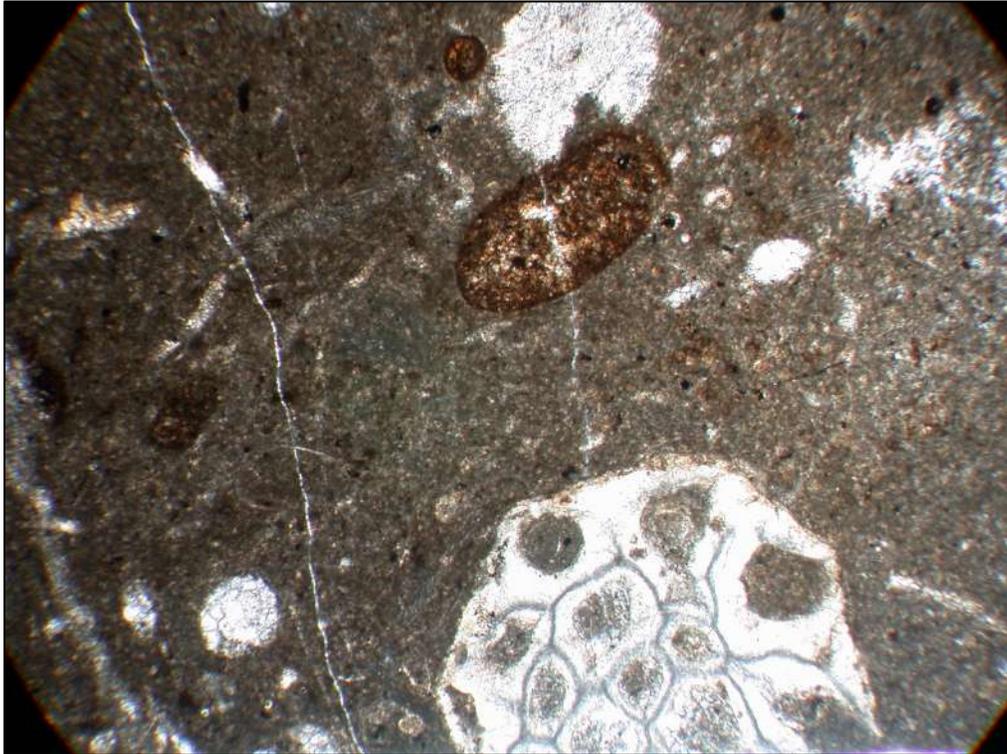


Figura 12. Fotomicrografía de la muestra OMA-22. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. Corresponde con una caliza packstone con briozoarios.

SECCIÓN B-B' (Fig. 13)

La segunda sección se hizo por la parte NE al costado del Cerro la Cueva, como se muestra en las figuras 5 y 6.

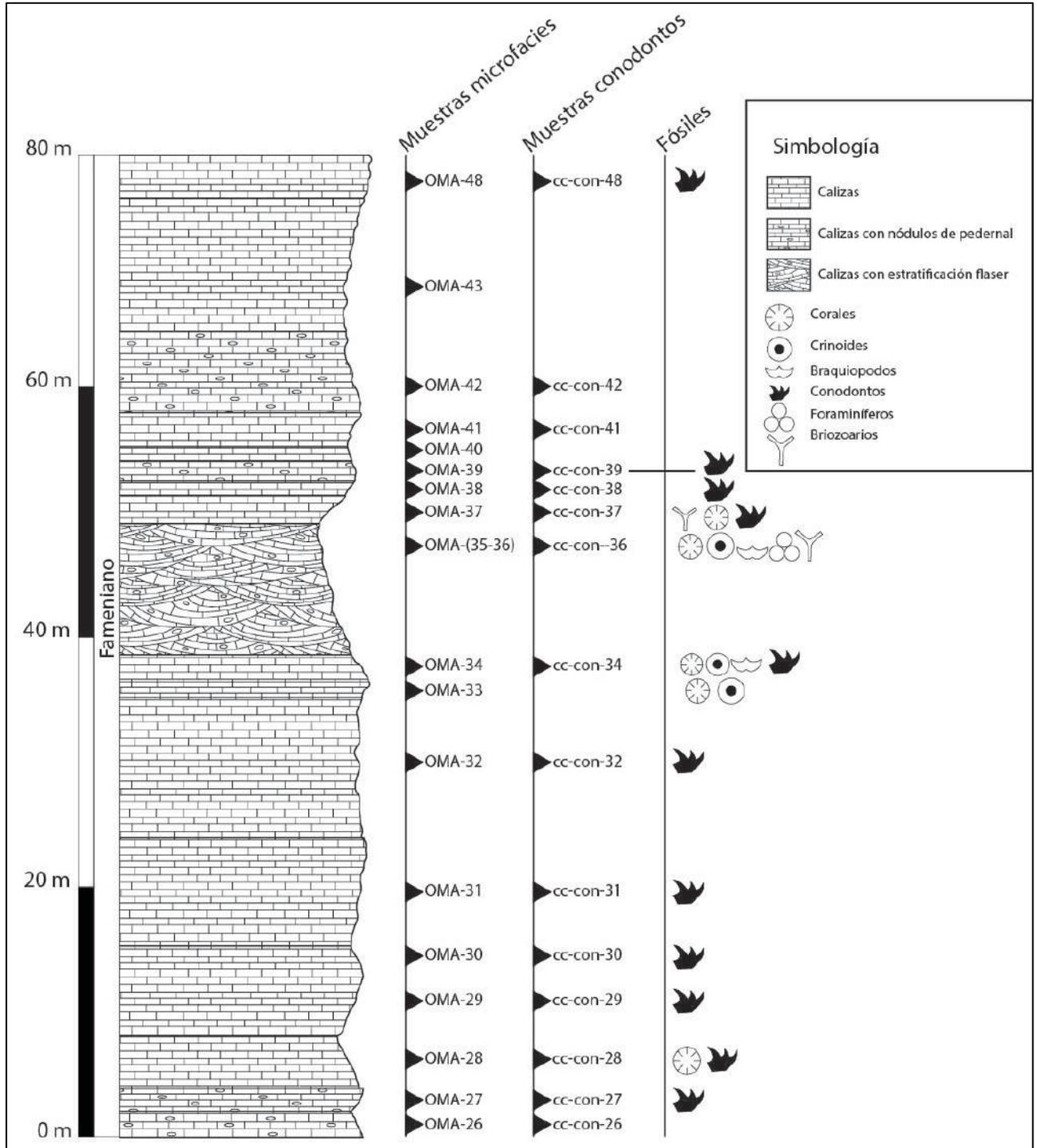


Figura 13. Columna estratigráfica de la sección B-B con localización de las muestras que se tomaron para lámina delgada y especímenes fosilíferos.

En los primeros 5 metros se tiene una caliza con nódulos de pedernal negro con superficie a la intemperie negra grisácea y en roca fresca color rojizo. El tamaño de grano es muy fino con vetillas de sílice y calcita en varias direcciones. Al microscopio se observó una caliza mudstone en una matriz de micrita con clastos de pedernal mayores a 1 cm; estilolitos con óxido de hierro y vetillas de calcita recristalizada.

Los siguientes 30 metros están formados por una caliza grisácea a la intemperie y en roca fresca negra (Fig. 14). Presentándose en estratos masivos con una textura de grano fino, también se encontraron restos de corales solitarios, restos de crinoides y braquiópodos. Se observaron vetillas de calcita y óxido de hierro. Todas las muestras que se tomaron en este intervalo liberaron conodontos (Fig. 14). En lámina delgada se observó una caliza clasificada como mudstone, compuesta de micrita y algunos clastos de pedernal con estructuras de estilolitos y vetillas rellenas de calcita recristalizada. Posteriormente se clasificó una caliza packstone predominando la presencia de micrita, con poca esparita en algunas secciones de la lámina, con abundantes restos de briozoarios, cortes de crinoides y ooides (Fig. 16).



Figura 14. Afloramiento de calizas donde se encontraron conodontos (sección B-B').

En los siguientes 18 metros se encontraron calizas negras bioclásticas con nódulos de pedernal negro y roca fresca gris a oscuro. Cuentan con una textura de grano fino, presentando estructura flaser con syringopóridos, restos de corales y de crinoides (Fig. 15). En lámina delgada se clasificó como una caliza packstone en la que se observó la presencia de briozoarios del género *Fenestella*, braquiópodos, foraminíferos, placas de equinodermos y restos de corales (Figs. 17, 18 y 19). Fueron encontradas estructuras de estilolitos con óxido de hierro, además de vetillas de calcita recristalizada cortando en varias direcciones como se puede observar en las figuras.



Figura 15. Caliza negra bioclástica con syringopóridos, corales y crinoides.

A continuación se presenta una caliza gris a la intemperie con nódulos de pedernal negro y superficie fresca grisácea. Los tamaños de cristales son gruesos muy recristalizados y se observan en estratos de delgados a medianos. En lámina delgada se observó una caliza packstone con presencia de algas, cortes de briozoarios y crinoides (Fig. 20). Posteriormente se encontró una caliza mudstone con presencia de estilolitos con manchas de óxidos de fierro y algunas vetillas de calcita.

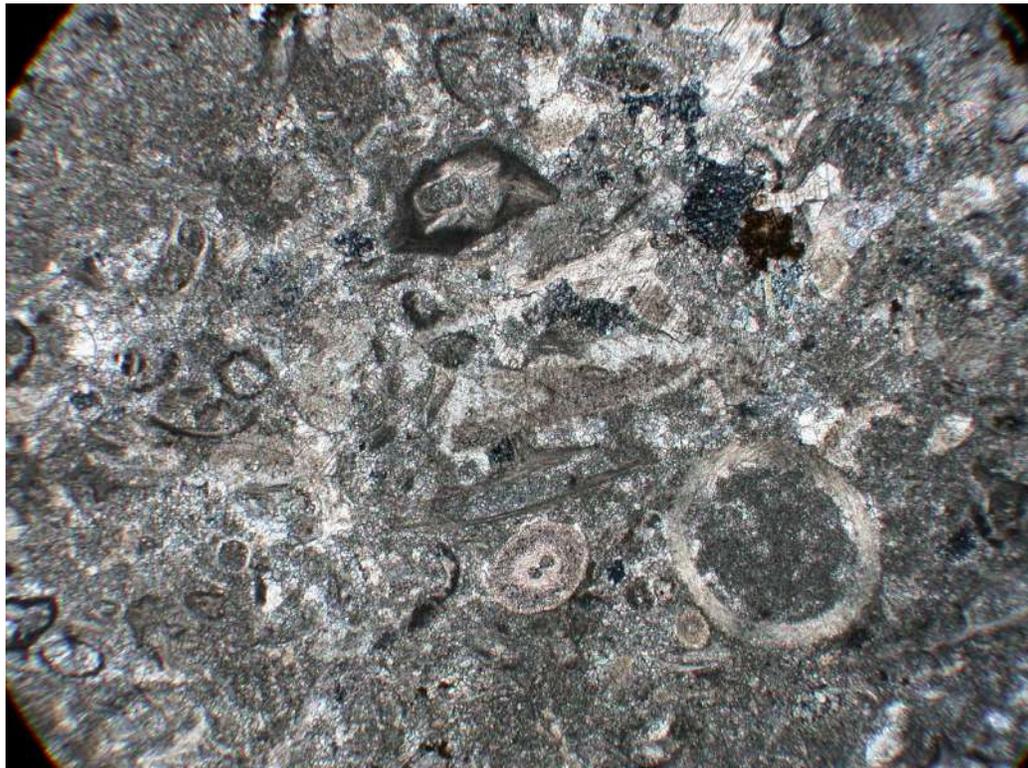


Figura 16. Fotomicrografía de la muestra OMA-29. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. Se pueden ver cortes de tallos de crinoides, briozoarios, también la presencia de ooides.

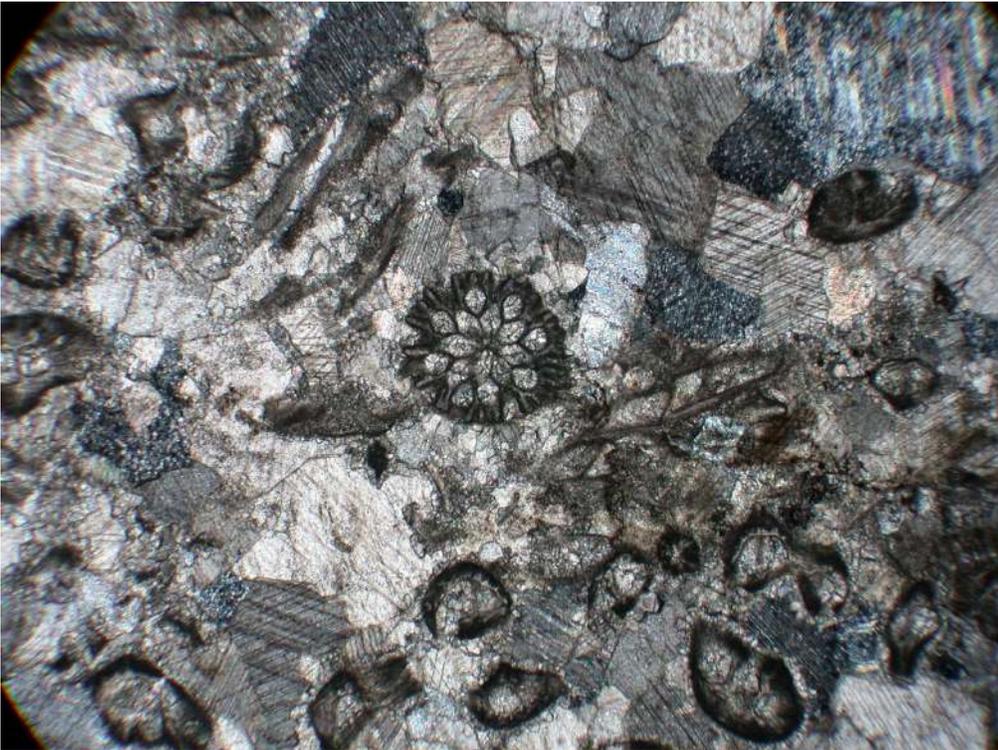
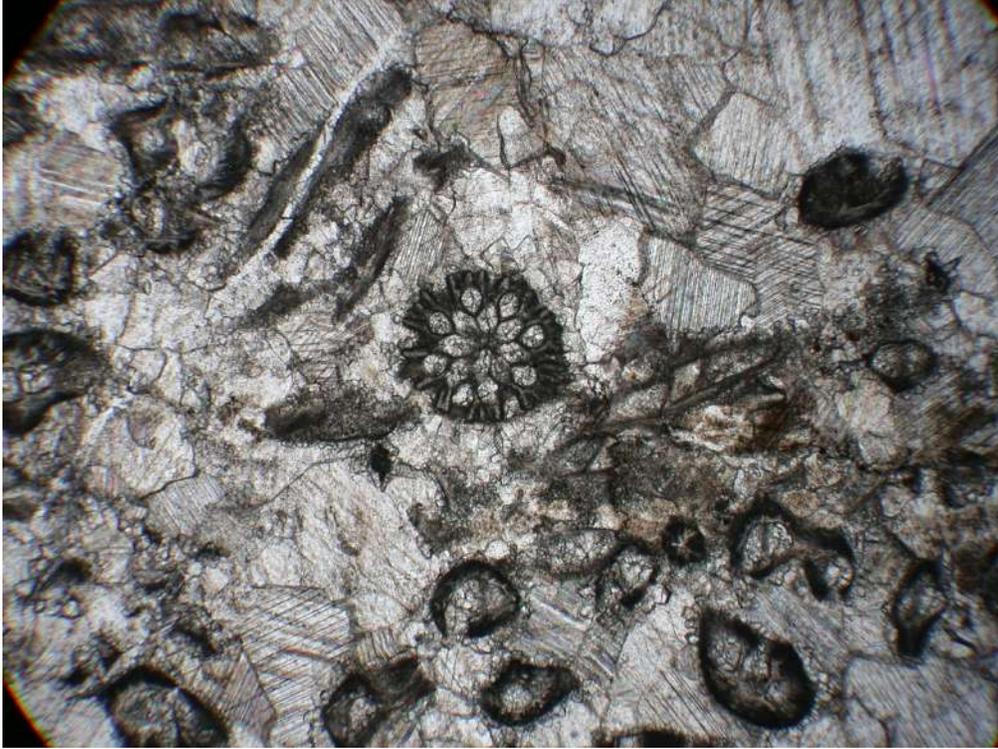


Figura 17. Fotomicrografía de la muestra OMA-29. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. Se observa una colonia de briozoos (centro de la imagen) y otros cortes, en esparita, de briozoos que pertenecen probablemente al género *Fenestella*.

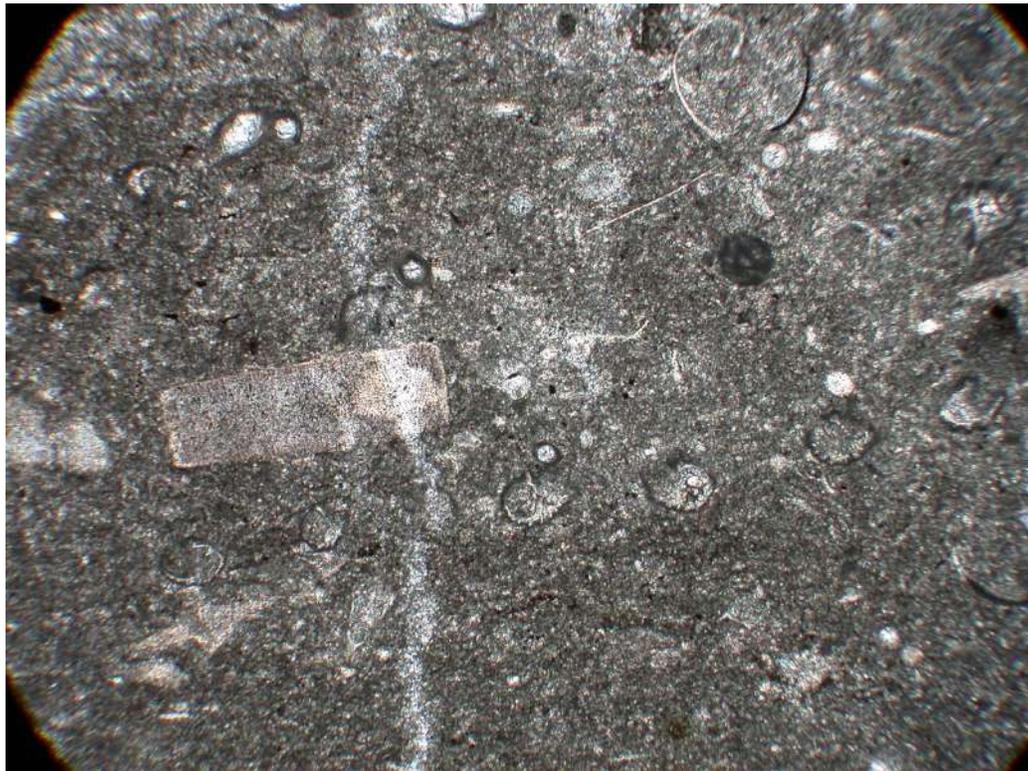
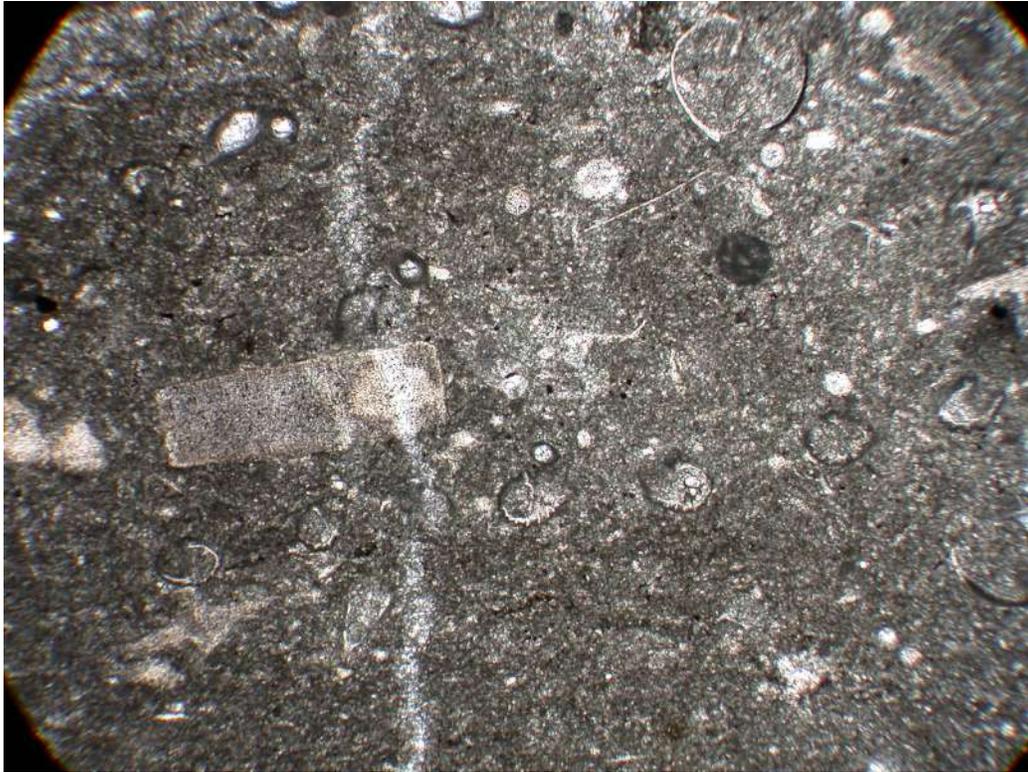


Figura 18. Fotomicrografía de la muestra OMA-35. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. Se pueden observar una placa de equinodermo y cortes de briozoarios.

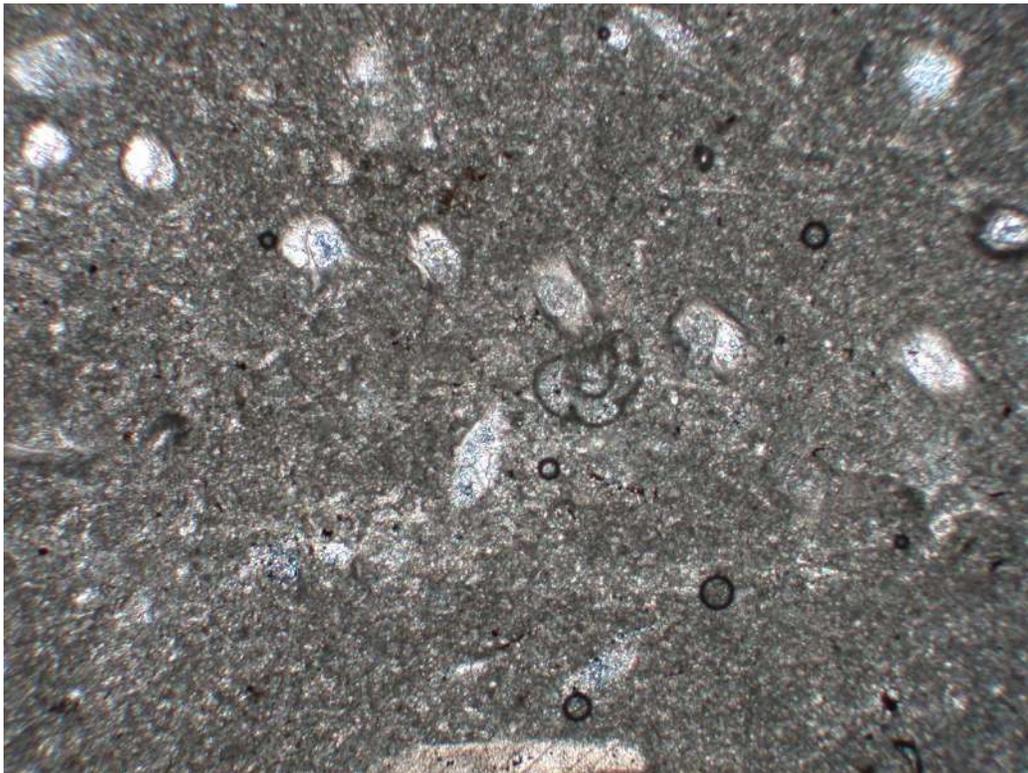
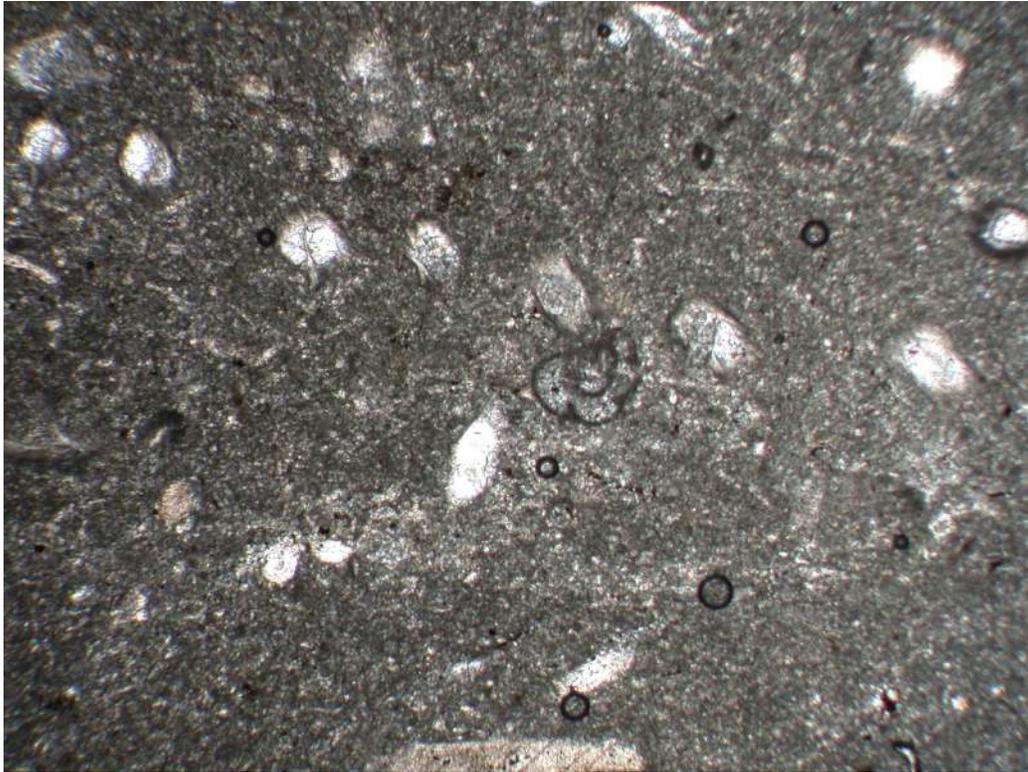


Figura 19. Fotomicrografía de la muestra OMA-35 arriba luz natural y abajo luz polarizada. Cortes de briozoarios y un foraminífero.

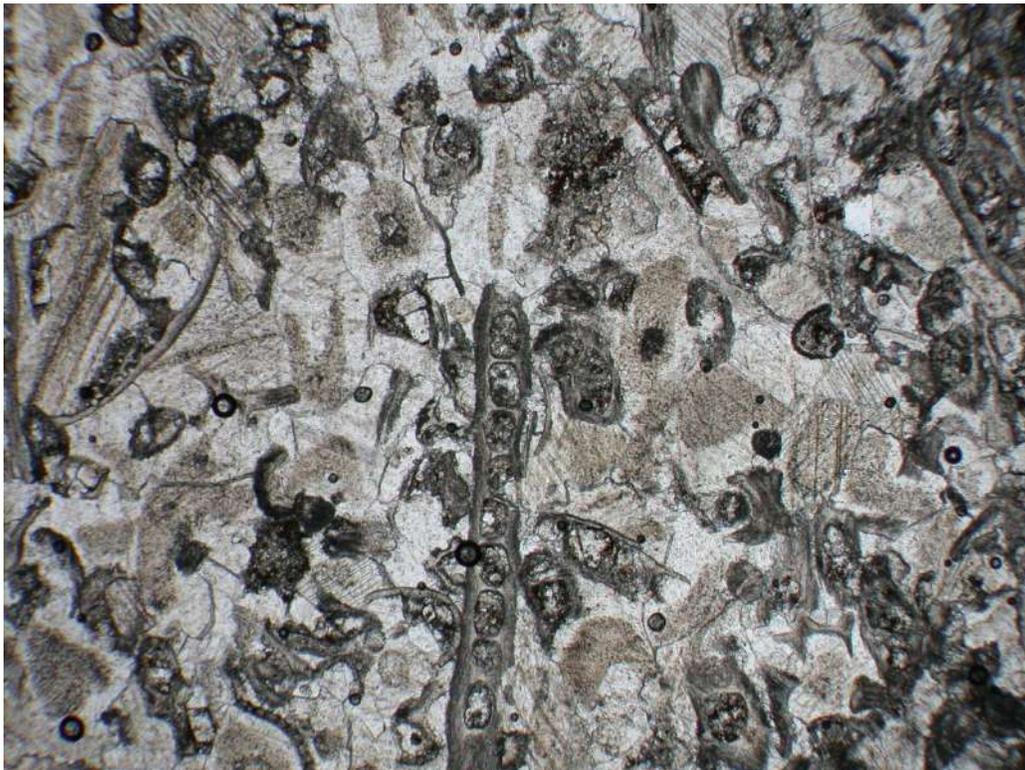
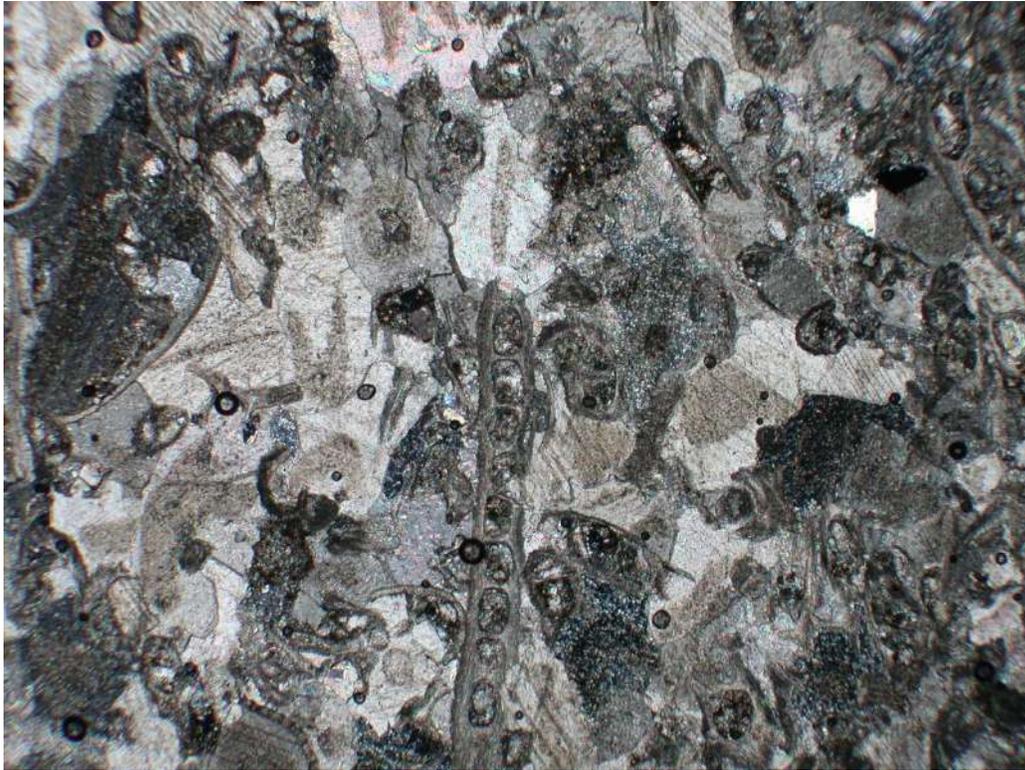


Figura 20. Fotomicrografía de la muestra OMA-38. Arriba luz natural y abajo luz polarizada. Se observan cortes de briozoarios, crinoides y gasterópodos.

BIOESTRATIGRAFÍA DE CONODONTOS

Se tomaron un total de 24 muestras para estudios de bioestratigrafía de conodontos en las dos secciones estudiadas. Después de disolver un total de 18.59 kg de roca caliza se obtuvieron elementos conodontales suficientemente bien preservados para su clasificación en 9 de ellas. Todos los elementos conodontales clasificados pertenecen a la parte superior del Fameniano (Devónico Superior).

En la sección A-A' se tomaron 8 muestras de las cuales 2 liberaron elementos conodontales. Solo en una de ellas los ejemplares correspondieron con elementos conodontales con información bioestratigráfica. En la sección B-B' se tomaron 16 muestras de las cuales 12 dieron resultados positivos en conodontos. Sin embargo, de estas 12 muestras, 4 liberaron solamente fragmentos o elementos ramiformes que no se han considerado para este trabajo. La posición estratigráfica de las muestras productivas está indicada en las figuras 7 (columna estratigráfica sección A-A') y 13 (columna estratigráfica sección B-B').

Sección A-A'

En la sección A-A' la única muestra que liberó elementos conodontales identificables fue la muestra CC-CON-24 (Fig. 7). Sin embargo la productividad de esta muestra fue baja y no se pudo datar con precisión. La presencia de un ejemplar de *Polygnathus experplexus* (Fig. 24. 1) y otro de *P. subnormalis* (Fig. 24.2) apunta a una edad Fameniano medio-tardío (ver apartado siguiente).

Sección B-B'

En la sección B-B' se encontraron elementos conodontales en 12 muestras. Sin embargo solo pudieron identificarse a nivel de especie en 7 de ellas.

La muestra más baja geoméricamente en esta sección es CC-CON-28 (Fig. 13). La presencia de *P. obliquicostatus* (Fig. 24. 3) en esta muestra indica una edad que va de la base de la Zona de *postera* a la base de la Zona superior de *expansa* (Fig. 25). La muestra CC-CON-30 contiene *Bispathodus stabilis* (Fig. 24. 4) que aparece en la base de la Zona más superior de *marginifera* y llega hasta el Misisípico (Fig. 25, ver apartado siguiente). Aunque este rango alcanza biozonas más antiguas que *P. obliquicostatus*, el rango de *B. stabilis* es más amplio que el de *P. obliquicostatus*.

La presencia de *Icriodus darbyensis* (Fig. 24. 5 y 6) en la muestra CC-CON-34 nos indica una edad que va desde dentro de la Zona inferior de *expansa* hasta la base de la Zona inferior de *praesulcata* y probablemente hasta la Zona media de *praesulcata* (Fig. 25, ver apartado siguiente). En la muestra CC-CON-37 aparecieron varios ejemplares del género *Polygnathus*; sin embargo solo se pudo

clasificar *P. obliquicostatus* (Fig. 24. 8) por lo que no se ha podido datar con precisión.

La muestra CC-CON-38 es la que liberó más elementos conodontales, en cantidad y en diversidad, lo cual ha permitido datar con precisión como la Zona media de *expansa*-parte baja de la Zona superior de *expansa* (Fig. 25, ver apartado siguiente). Esto por la presencia de *I. darbyensis* (Fig. 24. 10 y 12) *B. aculeatus aculeatus* (Fig. 24. 9), *P. collinsoni* (Fig. 24. 11) y *P. obliquicostatus*.

La muestra más alta en la sección, CC-CON-48, es también la que se ha datado como la más joven de la sección. De esta muestra se obtuvieron dos ejemplares de los cuales se identificó uno como *B. aculeatus aculeatus*, que apareció a la base de la Zona superior de *expansa* y llegó hasta el Misisípico (Fig. 25, ver apartado siguiente).

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

En este apartado se incluye la sistemática y sinonimia de las especies de conodontos encontradas. Se incluye la diagnosis original traducida al español. En los casos en los que no se ha podido conseguir el trabajo original se han traducido las diagnosis de otros trabajos posteriores de paleontología sistemática. Contiene una breve explicación de los ejemplares encontrados así como un apartado de comentarios, los rangos de edades y en los casos que se han podido encontrar en la literatura, un breve apartado sobre las biofacies o paleoecología del grupo en cuestión. También se incluyen esquemas indicando los elementos morfológicos de los géneros encontrados en las figuras 21, 22 y 23.

Los conodontos como organismo completo presentaban simetría bilateral y estaban formados por entre 6 y 8 elementos conodontales, es decir, cada organismo contenía entre 12 y 16 elementos conodontales. La paleontología sistemática que aquí se ha realizado solo ha tenido en cuenta los elementos P₁ (Pa) ya que generalmente son los que más información bioestratigráfica aportan.

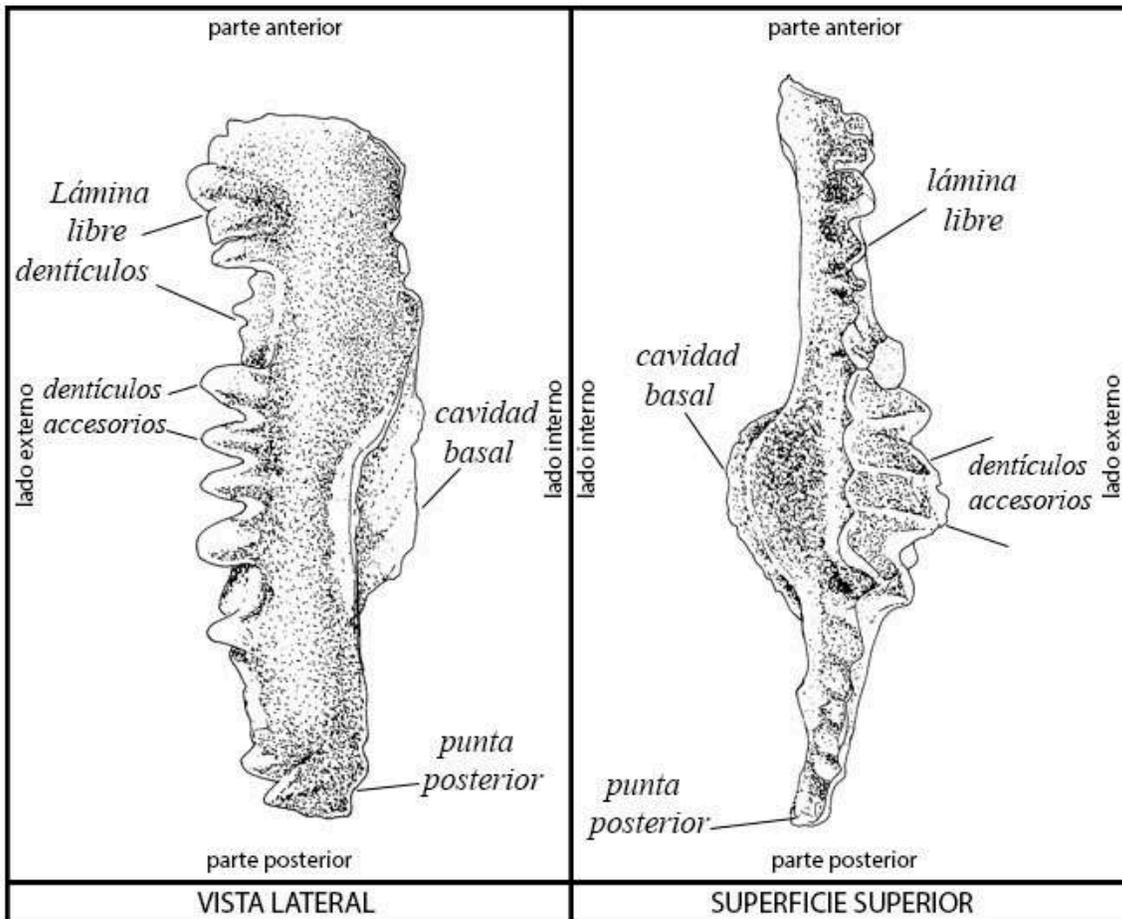


Figura 21. Términos morfológicos de conodontos del género *Bispathodus*. Modificado de Ziegler (1975).

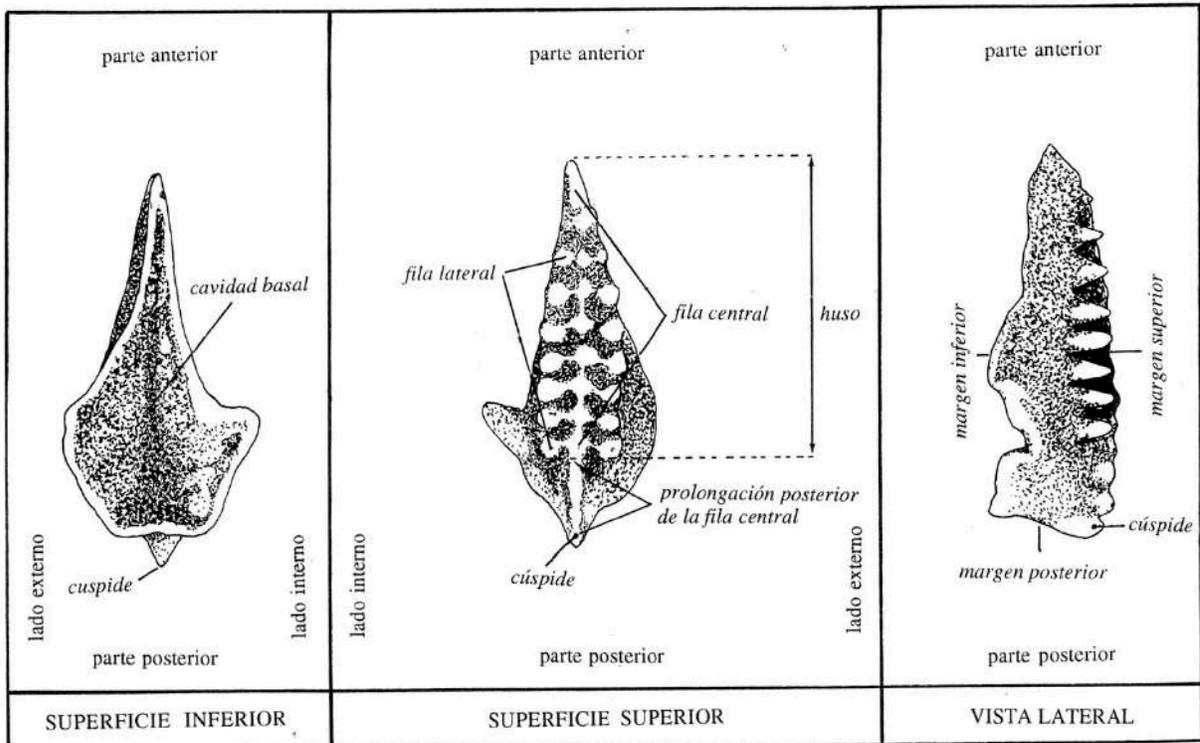


Figura 22. Términos morfológicos usados de conodontos del género *Icriodus*. Ligeramente modificado de Rodríguez-Cañero (1993).

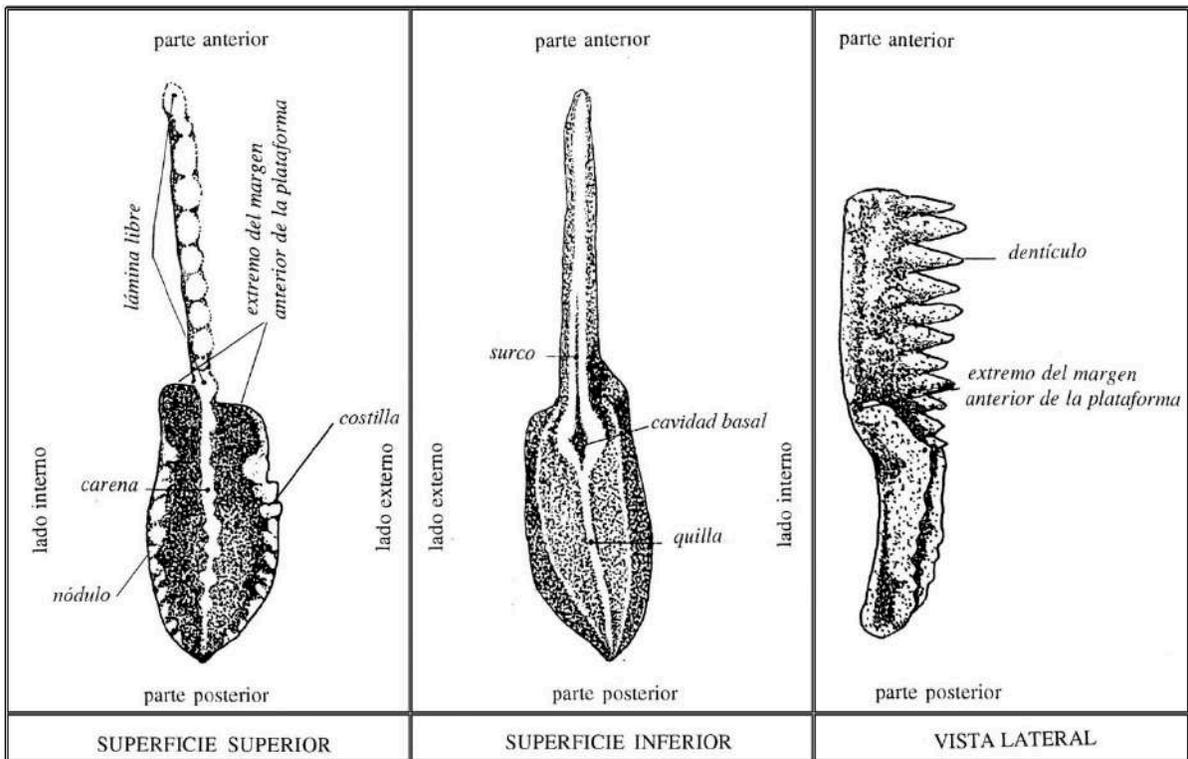


Figura 23. Términos morfológicos de conodontos del género *Polygnathus*. Ligeramente modificado de Rodríguez-Cañero (1993).

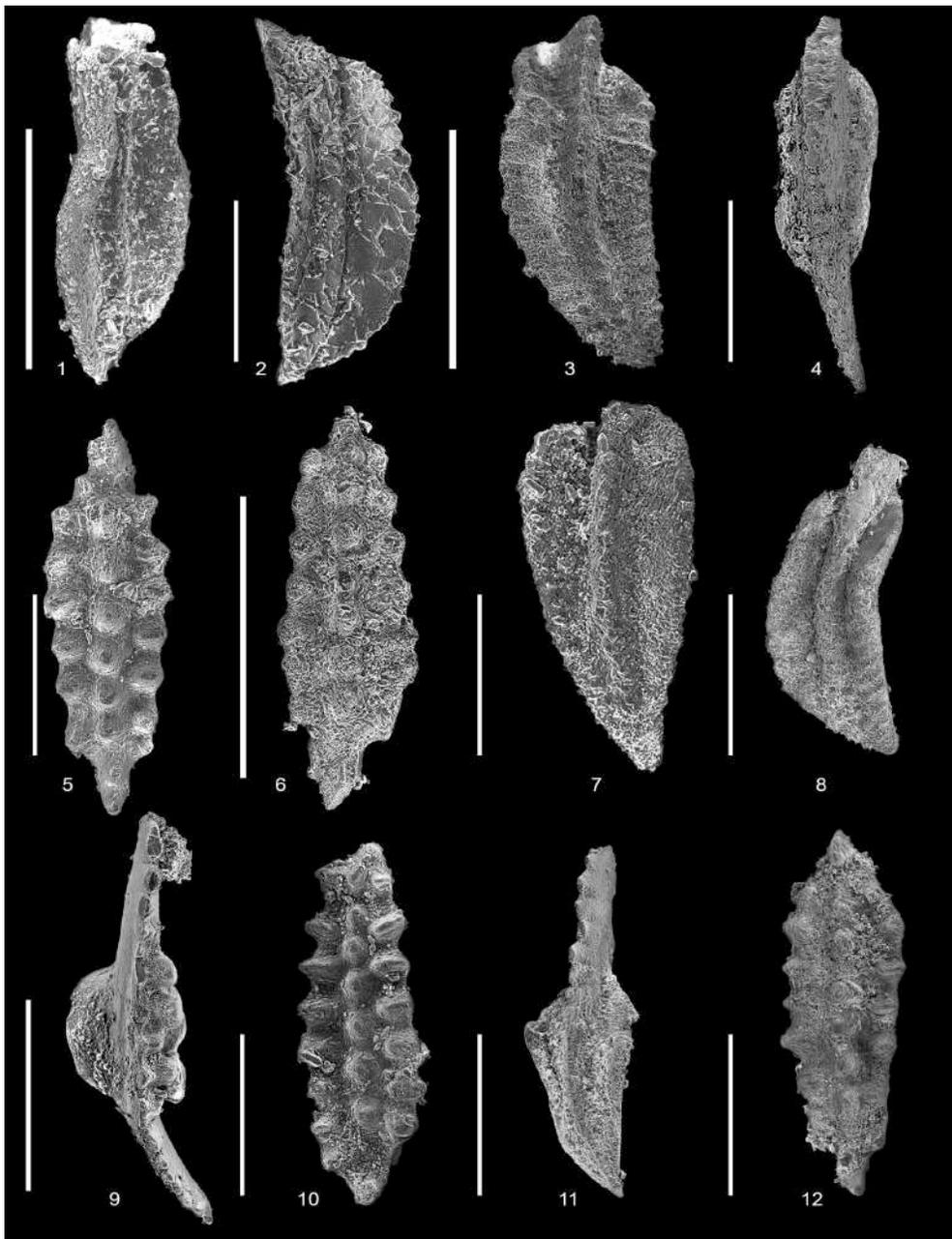


Figura 24. Conodontos del Fameniano (Devónico Superior) de las secciones del Cerro la Cueva, San Pedro de la Cueva Son. México. Las escalas graficas equivalen a 300 μm y 500 μm en los ejemplares 1,3,6 y 9.

1. *Polygnathus* cf. *P. experplexus*, ejemplar CC-CON 24-1
2. *Polygnathus* cf. *P. subnormalis*, ejemplar CC-CON-24-2
3. *Polygnathus obliquicostatus*, ejemplar CC-CON 28-1
4. *Bispathodus stabilis*, ejemplar CC-CON 30-1
5. *Icriodus darbyensis*, ejemplar CC-CON 34-1
6. *Icriodus darbyensis*, ejemplar CC-CON 34-2
7. *Polygnathus* sp., ejemplar CC-CON 34-3
8. *Polygnathus obliquicostatus*, ejemplar CC-CON 37-1
9. *Bispathodus aculeatus*, ejemplar CC-CON 38-1
10. *Icriodus darbyensis*, ejemplar CC-CON 38-2
11. *Polygnathus collinsoni*, ejemplar CC-CON 38-4
12. *Icriodus darbyensis*, ejemplar CC-CON 38-5

Bispathodus aculeatus aculeatus (Branson y Mehl)

Fig. 24. 9

1934 *Spathodus aculeatus* n.sp. Branson y Mehl, p. 186, pl. 17, figs. 11, 14.

1974 *Bispathodus aculeatus aculeatus*. Ziegler *et al.*, p. 101, Pl. 1, fig. 5; Pl. 2, figs. 1-8.

2013 *Bispathodus aculeatus aculeatus*. Savage, p. 9, Figs. 22.1-22.3, 22.7-22.13.

2014 *Bispathodus aculeatus aculeatus*. Qie *et al.*, Fig. 3.14.

Diagnosis (traducido de Ziegler *et al.*, 1974): Una subespecie de *Bispathodus aculeatus* en la que los dentículos de la parte anterior de la lámina libre están todos a la misma altura, o son más altos en el centro o en la parte anterior al centro. Presenta uno o más dentículos accesorios sobre la cavidad basal en el lado derecho de la lámina.

Descripción: Los ejemplares obtenidos se caracterizan por tener una pequeña cavidad basal sin alcanzar el extremo posterior. Presentan una suave curvatura en la punta posterior; en uno no se puede apreciar esta característica ya que se encuentra roto. La presencia de dentículos se encuentran a la misma altura excepto un ejemplar que se caracteriza por tener los dentículos más altos en la parte del medio y la cavidad basal es más pequeña en un lado.

Comentarios: El género *Bispathodus* se originó durante la Zona superior de *marginifera* (Fameniano) a partir de *B. stabilis*. Esta especie dio lugar a dos linajes distintos, informalmente denominados "rama de *bispathodus*" (*bispathodus* branch) y "rama de *aculeatus*" (*aculeatus* branch), que se diferencian fundamentalmente por el tamaño y morfología de la cavidad basal (Ziegler *et al.*, 1974). Las especies de la rama de *bispathodus* se caracterizan por presentar un cavidad basal ancha que alcanza el extremo posterior de la lámina, mientras que las especies de la rama de *aculeatus* presentan una cavidad basal pequeña que no alcanza el extremo posterior. *B. aculeatus aculeatus*, *B. aculeatus anteposicornis* y *B. aculeatus plumulus* fueron las primeras subespecies que se originaron dentro del linaje de *aculeatus*, todas de manera simultánea durante la Zona inferior de *costatus* (equivalente a la parte media de *expansa*).

Edad: parte superior de la Zona inferior de *costatus* (equivale a la base de la zona superior de *expansa*) hasta la Zona inferior de *S. crenulata* (Ziegler *et al.*, 1974).

Bispathodus stabilis (Branson y Mehl)

Fig. 24. 4

1934 *Spathodus stabilis* n.sp. Branson y Mehl, p. 188, pl. 17, fig. 20.

1966 *Spathognathodus stabilis*. Klapper, p. 23, pl. 5, figs. 6, 7.

1974 *Bispathodus stabilis*. Ziegler *et al.*, p. 103-104, Pl. 1, fig. 10, pl.3, figs. 1-3.

2013 *Bispathodus stabilis*. Savage, p. 11, Figs. 18.12-18.14, 18.23-18.25, 20.8-13, 20.18-20.20.

Diagnosis (traducido de Klapper, 1966): forma de fila simple, recta o ligeramente curva. Unidad arqueada, especialmente desde el extremo anterior de la cavidad basal al extremo posterior de la lámina. Normalmente 20 dentículos o más en especímenes grandes, muchos dentículos incipientes. Cavidad basal simétrica más ancha anteriormente, que comúnmente se extiende hasta el extremo posterior.

Descripción: Los ejemplares obtenidos se caracterizan principalmente por su cavidad basal pequeña, simétrica y ligeramente asimétrica en un ejemplar muy pequeño, tal vez por ser juvenil se considera el hecho de que no se había desarrollado completamente. Otra característica importante es que en ninguno la cavidad basal alcanza el extremo posterior de la lámina.

Comentarios: El holotipo con la lámina anterior y los márgenes de la cavidad basal rotos, fue reelustrado por Ziegler *et al.* (1974). Estos autores diferenciaron dos morfotipos dentro de esta especie. El morfotipo 1 representa el linaje más conservativo y se caracteriza por una cavidad basal relativamente pequeña, simétrica o ligeramente asimétrica que no alcanza el extremo posterior de la lámina. El morfotipo 2 tiene una cavidad basal mucho más ancha, la cual es asimétrica y alcanza el extremo posterior.

Biofacies: *Bispathodus stabilis* se interpreta como un organismo eufótico pero no nectobentónico, ya que aparece en varias biofacies diferentes (Sandberg y Gutschick, 1979; Sandberg y Dreesen, 1984).

Edad: Zona superior de *marginifera*-Carbonífero inferior (Ziegler *et al.*, 1974).

"*Icriodus*" *darbyensis* Klapper morfotipo 2 Sandberg y Dreesen
Fig. 24. 5,6,10 y 12

1958 *Icriodus darbyensis* n.ssp. Klapper, p. 1086, pl. 141, figs. 9, 11, 12.

1980 *Icriodus costatus dusari* n.ssp. Dreesen y Houllenberg, p. 123, pl. VIII: 4-12.

1984 "*Icriodus*" *costatus darbyensis* morphotype 2, Sandberg y Dreesen, p. 165, pl. 4, figs. 2-6.

2011 *Icriodus costatus darbyensis* m2, Bahrami et al., pl.1, figs. 13-14.

Diagnosis (Sandberg y Dreesen, 1984): Presenta una plataforma moderadamente ancha con denticulos redondeados, protuberantes en las filas laterales, que da lugar a un margen de la plataforma muescado en vista superior.

Descripción: Algunos de los ejemplares obtenidos se caracterizan por presentar nódulos en ambas filas laterales y centrales. Otros se caracterizan por presentar denticulos poco redondeados en las filas laterales y nódulos en filas centrales. Todos presentan una cúspide bien prolongada, otra característica importante es que presentan un surco alargado y estrecho que se presenta anterior a la cavidad basal, varían con el tamaño de los ejemplares dependiendo su edad, los adultos tienen esta característica más apreciable que los juveniles.

Comentarios: Sandberg y Dreesen (1984) definen dos morfotipos diferentes dentro de "*Icriodus*" *costatus darbyensis* que subdividen una serie gradual que comienza con formas primitivas que son transicionales de "*Icriodus*" *costatus costatus* morfotipo 2, especie de la que se origina, y termina con formas más avanzadas que tienen plataformas bien desarrolladas. Estos autores tratan como géneros separados los últimos supervivientes de *Icriodus* que se extinguieron en el Fameniano temprano de los "*Icriodus*" más jóvenes, que evolucionaron de especies de *Pelekysgnathus* con plataformas con una sola fila de nódulos más tarde durante el Fameniano. Para la definición de este nuevo género, sin embargo, es necesario que se reconstruyan más aparatos completos de especies de ambos grupos. Mientras tanto, los auténticos *Icriodus* pueden diferenciarse por la altura de la cúspide posterior de la plataforma, que será baja, a diferencia de *Pelekysgnathus* e "*Icriodus*" con cúspides de moderadas a altas.

Biofacies: Los icriodóntidos descendientes de *Pelekysgnathus* que se incluyen en "*Icriodus*" y los propios *Pelekysgnathus*, aparecen mayormente en las biofacies III (polygnátidos-"icriodóntidos") dentro de las biofacies definidas por Sandberg y Dreesen (1984) en el Fameniano de Europa y Estados Unidos, que se aplican globalmente. Corresponden con los ambientes más distales de la plataforma externa.

Edad: desde dentro de la Zona inferior de *expansa* a través de la Zona superior de *expansa* y probablemente a través de las zonas inferior y media de *praesulcata* con base a raras ocurrencias (Sandberg y Dreesen, 1984).

Polygnathus collinsoni Druce

Fig. 24. 11

1969 *Polygnathus collinsoni* n. sp. Druce, p. 93, pl. 23, figs. 3, 4.

1975 *Polygnathus collinsoni*. Druce, p. 184, Pl. 71, figs. 1a-2b.

1979 *Polygnathus communis collinsoni*. Nicoll y Druce, p. 28-29, pl. 16, figs. 1-6.

1985 *Polygnathus collinsoni*. Belka, Pl. 17, fig. 3.

Diagnosis original (traducido de Druce, 1969): Polygnáthido de plataforma con superficie lisa que presenta una fila de nódulos o costilla longitudinal desarrollados en el extremo anterior de la plataforma, en cualquiera de los dos lados de la lámina libre.

Descripción: Los ejemplares se caracterizan por tener una fila de nódulos que se encuentran en el extremo anterior de la plataforma. Los márgenes laterales de la plataforma se encuentran doblados hacia arriba dejando surcos entre la carena y los márgenes. Esta característica se ve en la mayoría de los ejemplares obtenidos por lo que corresponden a especímenes juveniles.

Comentarios: Nicoll y Druce (1979) estudiaron un material con una buena progresión ontogenética, con especímenes desde juveniles hasta adultos. Esto les permitió observar cambios morfológicos progresivos con la edad. Una de las características que observaron que cambiaba con la edad del individuo es la morfología de la plataforma. En especímenes juveniles, los márgenes laterales de la plataforma están doblados hacia arriba, mientras que en especímenes adultos, el surco que se forma entre la carena y los márgenes se rellena gradualmente de manera que la superficie oral parece casi plana excepto por unas pequeñas depresiones a ambos lados de la carena. La mayoría de los elementos conodontales de esta especie encontrados en el Cerro la Cueva corresponden con ejemplares juveniles.

Edad: Según Nicoll y Druce (1979) aparece en la biozona de *Po. co. collinsoni* A.Z. (Fameniano, Devónico tardío), definida por estos mismos autores y que equivale gráficamente a la zona de *expansa*. Según Druce 1975, probablemente tienen una edad de las zonas inferior a media de *styriacus*. Klapper en Playford *et al.* 2009 (p. 207) pone de manifiesto que la distribución bioestratigráfica de *Po. collinsoni* es difícil de establecer de manera precisa, ya que no ha aparecido en secciones donde se reconozca la zonación estándar del Fameniano.

Polygnathus cf. *P. experplexus* Sandberg y Ziegler
Fig. 24. 1

1979 *Polygnathus experplexus* n.sp. Sandberg y Ziegler, p. 185-186, pl. 4, figs. 2-6.

Diagnosis original (traducido de Sandberg y Ziegler 1979): Especie de *Polygnathus* que tiene un surco rostral interno ampliamente expandido entre la lámina y una costilla rostral interna que diverge de la lámina hacia la parte anterior. La plataforma está moderada o fuertemente curvada, cuya ornamentación consiste en nódulos organizados de manera que sugieren tenues costillas transversales. Los especímenes izquierdos de esta especie, que tiene una simetría de Clase IIIb (Lane, 1968), son más grandes y más expandidos en uno o ambos lados de la plataforma que los especímenes derechos que tienden a ser más pequeños y estrechos.

Descripción: En la muestra se encontró solo un ejemplar que se caracteriza principalmente por presentar una ornamentación muy tenue en los márgenes de la plataforma. Presenta una plataforma moderadamente curvada y surcos rostrales.

Comentarios: Pertenece al grupo de *Polygnathus nodocostatus* y está relacionado sobre todo con *P. perplexus*. *P. experplexus* se diferencia de *P. perplexus* por la costilla rostral interna que es fuertemente divergente y su ornamentación con nódulos que parecen costillas transversales débiles.

Biofacies (Sandberg y Ziegler, 1979): El grupo *nodocostatus* es un indicador de ambientes alejados de costas con aguas de profundas a moderadamente profundas. También puede aparecer en menor proporción en ambientes más profundos o relativamente más someros, pero nunca en ambientes muy someros (Sandberg, 1976). Es muy abundante en el escudo continental del oeste de los Estados Unidos (Sandberg, 1976).

Edad: Zona superior de *styriacus*-Zona inferior de *costatus*, equivalente a la zona inferior de *expansa*-parte baja de la zona superior de *expansa* (Sandberg y Ziegler, 1979).

Polygnathus cf. *P. subnormalis* Vorontsova y Kuz' min
Fig. 24. 2

1994 *Polygnathus subnormalis*. Metzger, p. 640, 644, figs. 19.10-19.22

1997 *Polygnathus subnormalis*. Mawson y Talent, p. 222, fig. 15, 9–14.

2000 *Polygnathus* aff. *subnormalis*. Çapkinoglu y Gerik, pl. 1, figs. 21, 22.

Diagnosis (traducido de Mawson y Talent, 1997): Conodontos con plataforma con forma de lanza con márgenes laterales elevados conectados asimétricamente a la lámina libre. La superficie de la plataforma está cubierta por costillas transversales. La cavidad basal es lenticular, extendiéndose como una hendidura en la lámina libre.

Descripción: El ejemplar encontrado se caracteriza por tener una plataforma ligeramente asimétrica y en la parte externa se encuentra más ancha con pequeños dentículos. La ornamentación no está muy bien marcada, las costillas se ven muy suaves y tenues en el borde de la plataforma. La cavidad basal se va extendiendo hasta formar una pequeña hendidura o un pequeño surco muy estrecho que se va metiendo a la lámina libre.

Comentarios (traducido de Mawson y Talent 1997): Vorontsova y Kuz'min (1984) diferenciaron dos nuevas especies de *Polygnathus*, *P. argutus* y *P. subnormalis*. Posteriormente, Kuz'min (1990) se dio cuenta de que ambas especies aparecían en proporciones similares en todas las muestras y que *P. subnormalis* aparecía como elementos derechos mientras que *P. argutus* era siempre izquierdo. Dicho autor colocó en sinonimia ambos, argumentando que se trataba de un par asimétrico (Klapper, 1971).

Edad (Barskov *et al.*, 1991): Zona de *rhomboidea*-Zona de *trachytera*.

Polygnathus obliquicostatus

Fig. 24. 3 y 8

1962 *Polygnathus obliquicostata* n. sp. Ziegler, p. 92, Taf. 11, figs. 8-12.

1966 *Polygnathus obliquicostata*. Klapper, p.22, Pl. 6, figs. 2, 4.

1975 *Polygnathus obliquicostatus*. Druce, p. 196, Pl. 78, fig. 2a, b.

2003 *Polygnathus obliquicostatus*. Corradini *et al.*, p. 237, pl. 4, fig. 9.

2012 *Polygnathus obliquicostatus*. Mossoni *et al.*, p. 31, fig. 6.12.

Diagnosis original (traducido de Ziegler, 1962): Una especie del género *Polygnathus* cuya lámina libre solo tiene la mitad de la longitud de la plataforma. La parte interna de la plataforma presenta una nervadura extremadamente fina y densa. Las costillas se muestran todas inclinadas hacia atrás en un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la carena.

Descripción: Se encontraron varios ejemplares de esta especie en donde algunos se puede notar claramente el tamaño de la lámina libre, que es la mitad de la longitud de la plataforma, pero sus costillas se presentan muy suaves y tenues en el margen de la plataforma. El otro ejemplar se encuentra roto de la lámina libre, pero presenta una ornamentación muy bien marcada, sus costillas presentan un ángulo de inclinación bastante apreciable con respecto a la carena.

Comentarios: Klapper (1966) incluye en la diagnosis otras características como la longitud de la carena, que no alcanza el extremo posterior, y la curvatura de la plataforma, que estaría fuertemente curvada hacia el lado interno. Los ejemplares que este autor ilustra, sin embargo, fueron incluidos posteriormente en otra especie del mismo linaje, *Polygnathus extralobatus* Schafer (Sandberg y Ziegler 1979).

Biofacies (Sandberg y Ziegler, 1979): El grupo *semicostatus* (*P. semicostatus*, *P. obliquicostatus* y *P. extralobatus*) es un indicador de profundidad moderada a aguas someras (Sandberg, 1976). Es más abundante en la plataforma externa del cratón pero va desde margen continental a plataforma interna. El grupo es más abundante en las biofacies de polygnathidos-icriodóntidos. Se vuelve menos abundante hacia el mar en las biofacies de palmatolépidos-polygnáthidos y hacia la costa en las biofacies de polygnáthidos-pelekysgnáthidos. Es menos común en las biofacies de clydagnáthidos. Aunque el grupo *semicostatus* está ausente en las biofacies más alejadas de la costa (palmatolépidos-bispathódidos) en el oeste de los Estados Unidos, sí aparece en estas biofacies en Alemania occidental, en un número limitado.

Edad: de la zona inferior de *postera* hasta la zona media de *expansa* (Sandberg y Ziegler, 1979)

SERIE	PISO	ZONAS CONODONTOS ESTÁNDARES		SECCIÓN A-A'		SECCIÓN B-B'							
				CC CON-24	CC CON-28	CC CON-30	CC CON-34	CC CON-37	CC CON-38	CC CON-48			
DEVÓNICO SUPERIOR	FAMENIANO	CARB. TEMPR.		<i>sulcata</i>									
		<i>praesulcata</i>	Superior										
			Medio										
			Inferior										
		<i>expansa</i>	Superior										
			Medio										
			Inferior										
		<i>postera</i>	Superior										
			Inferior										
		<i>trachytera</i>	Superior										
			Inferior										
		<i>marginifera</i>	Más superior										
			Superior										
			Inferior										
		<i>rhomboidea</i>	Superior										
			Inferior										
		<i>crepida</i>	Más superior										
			Superior										
			Medio										
			Inferior										
		<i>triangularis</i>	Superior										
			Medio										
			Inferior										

Figura 25. Biozonas de conodontos del Fameniario (Devónico Superior) con los alcances bioestratigráficos de cada una de las muestras que han liberado conodontos clasificables. Las líneas discontinuas indican ocurrencias de los conodontos basadas en apariciones poco frecuentes. Tomado de Ziegler y Sandberg, 1984, 1990.

DISCUSIÓN

Con base a la primera sección hecha, solo se pudieron identificar dos ejemplares de conodontos en la parte alta, mostrada en la figura 7 (muestra CC-CON-24) que indican una edad Devónico Tardío, probablemente de la Zona de *expansa* (Fameniano tardío). Sin embargo no se pudo datar con mayor precisión ya que no hubo más presencia de ejemplares. Mientras que la segunda sección (Fig. 13) presenta más variedad de ejemplares, que también indican como edad la Zona de *expansa* (Devónico Tardío). Cabe mencionar que es la primera datación del Devónico en la zona de estudio, ya que la única que había estudiado la zona en sus alrededores fue Peiffer-Rangin (1988). Ella en sus estudios data el Misisípico Inferior-Medio mediante la presencia de otros tipos de fósiles.

Algunas rocas del Cerro La Cueva tienen similitudes con las rocas paleozoicas de la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999). Los autores reportan la presencia de dos especies de conodontos que también se reportan en este trabajo. El primero es *Bispathodus stabilis*, encontrado por estos autores en la subunidad 32 que consta de lutitas, packstone y wackstone de color gris oscuro a claro, presentándose en capas finas a gruesas, que contiene además abundantes corales y braquiópodos. Encontraron además *Icriodus darbyensis* en la subunidad 35. Esta se compone de calizas grainstone a wackstone de color rojo a gris con bioturbaciones en capas delgadas irregulares, pobremente expuesta. Por último encontraron también en la secuencia de nuevo la especie de *Bispathodus stabilis* en la subunidad 36. Esta está compuesta de grainstone, packstone, wackstone y lutitas. Algunos de los packstone presentan oolitos, el color de roca es oscuro a gris, presentan un espesor de capas delgadas laminadas, tiene fragmentos de pedernal negro de un tamaño de 2 cm aprox. y contiene abundantes corales y braquiópodos.

Puede establecerse una correlación entre las rocas devónicas de la Sierra Agua Verde y las estudiadas en este trabajo ya que las subunidades litológicas 32, 35 y 36 propuestas por Stewart *et al.* (1999) son similares a las del Cerro la Cueva, como las calizas de coloración gris oscuro a claro y rojas. También fósiles de corales y braquiópodos fueron encontrados, así como los fragmentos de nódulos de pedernal negro a lo largo de la sección.

En el Cerro La Cueva se encontraron más especies de conodontos pertenecientes también al Devónico Tardío como *Bispathodus aculeatus aculeatus*, *Polygnathus* cf. *P. experplexus*, *Polygnathus obliquicostatus* y *Polygnathus collinsoni* que permitieron datar con más exactitud la zona de estudio como perteneciente a la Zona media de *expansa*.

Los conodontos que se han encontrado indican que hubo algunas oscilaciones en el nivel del mar ya que unos géneros de conodontos corresponden a plataforma somera a externa. Sin embargo, Stewart *et al.*, (1999) indica que la secuencia de la Sierra Agua Verde es de plataforma interna.

CONCLUSIONES

Esta tesis es el primer estudio sistemático y bioestratigráfico de detalle de la parte noroeste del Cerro la Cueva en el municipio de San Pedro de la Cueva, Sonora.

En este trabajo se presenta el primer estudio de conodontos de la región que confirma por primera vez el Devónico Superior en el área de San Pedro de la Cueva-Presa el Novillo. El único trabajo de este tipo hecho en la región estudiada fue realizado por Peiffer-Rangin (1988), quién dató el Misisípico mediante fósiles de otros grupos, sin reportar la presencia de estratos devónicos.

Se encontraron las especies de conodontos *Bispathodus stabilis*, *B. aculeatus aculeatus*, *Icriodus darbyensis*, *Polygnathus* cf. *P. experplexus*, *P. obliquicostatus*, *P. Collinsoni* y *Polygnathus* cf. *P. subnormalis*, todas ellas pertenecientes al Fameniense tardío.

Las biofacies que se deducen de las asociaciones faunísticas indican un paleoambiente de depósito de aguas someras que corresponden con una plataforma abierta. Esto confirma lo establecido por otros autores que han trabajado en la misma región (entre otros Peiffer-Rangin, 1988; Stewart *et al.*, 1999). A diferencia de este último que apunta a una plataforma interna, en el Cerro la Cueva las asociaciones de conodontos encontradas indican un ambiente de plataforma externa.

Se hizo una correlación de la segunda sección (B-B´) mediante la litología y la bioestratigrafía con el área de la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.* 1999), concretamente con algunas subunidades descritas como la 32, 35 y 36. Estas subunidades son semejantes en la litología descrita como en el contenido faunístico, concretamente dos de las especies de conodontos encontradas en el Cerro la Cueva que son: *Bispathodus stabilis* e *Icriodus darbyensis*.

Es necesario mencionar que se requieren más estudios bioestratigráficos en la primera sección (A-A´) ya que se tuvo muy poco contenido de conodontos y los ejemplares encontrados no se pudieron identificar con precisión debido al mal estado de conservación. Además, Peiffer-Rangin (1988) hace referencia al Misisípico en sus estudios por lo que puede que se encuentre el contacto entre el Devónico y el Misisípico en el área de estudio.

REFERENCIAS

- Almazán-Vázquez, E., B. E. Buitrón-Sánchez, D. Vachard, C. Mendoza-Madera, and C. Gómez-Espinosa. 2007. The late Atokan (Moscovian, Pennsylvanian) chaetetid accumulations of Sierra Agua Verde, Sonora (NW Mexico): composition, facies and palaeoenvironmental signals. *En* J. J. Álvaro, M. Aretz, F. Boulvain, A. Munnecke, D. Vachard, E. Vennin (eds.), *Palaeozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls*, 275:189-200. Geological Society, London, Special Publications.
- Angermann, E. 1904, Apuntes sobre el Paleozoico in Sonora: Instituto de Geología México, Parergones del Instituto Geológico de México, 1 (3): 81-90.
- Barskov, I. S., Vorontsova, T.N., Kononova, L. I., Kuz'min A.V., 1991, Opredelitel' konodontov devona I nizhnego karbona (Index conodonts of the Devonian and Lower Carboniferous). Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet, 183 p.
- Buitrón-Sánchez, B. E., C. Gómez-Espinosa, E. Almazán-Vázquez, and D. Vachard. 2007. A late Atokan regional encrinite (early late Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Sierra Agua Verde, Sonora state, NW Mexico. *En* J. J. Álvaro, M. Aretz, F. Boulvain, A. Munnecke, D. Vachard, E. Vennin (eds.), *Palaeozoic Reefs and bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls*. 275:201–209. Geological Society, London, Special Publications.
- Buitrón-Sánchez, B. E., C. Gómez-Espinosa, E. Almazán-Vázquez, D. Vachard, A. Laguarda-Figueras, and F. Solís-Marín. 2008. A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico. *International Journal of Tropical Biology*, 56:1–12.
- Druce, E. C. 1969. Devonian and Carboniferous Conodonts From the Bonaparte Gulf Basin, Northern Australia and Their Use in International Correlation. Australian Government Publishing Service, 243 pp.
- Druce, E. C. 1975. Conodont Biostratigraphy of the Upper Devonian Reef Complexes of the Canning Basin, Western Australia. Australian Government Publishing Service, Canberra, 1 pp.
- Dumble, E.T., 1900, Notes on the geology of Sonora, Mexico: American Institute of Mining Engineers, Transactions, 29:122-152.
- García Córtez J. A. Hernández Morales, P. 2010. Carta geológico-minera San Pedro de la Cueva H12-D34, Escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano.
- Gómez-Espinosa, C., D. Vachard, B. E. Buitrón-Sánchez, E. Almazán-Vázquez, C. Mendoza-Madera. 2008. Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (northwestern Mexico), and their biostratigraphic and palaeobiogeographic implications. *Comptes Rendus Palevol*, 7:259–268.
- INEGI, 2003. Síntesis de información geográfica del Estado de Chihuahua, 4p.
- INEGI, 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México, 31p.
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, San Pedro de la Cueva, Sonora. Clave geoestadística 26057, 9p.

- Jeppsson, L., Anehus, R., Fredholm, D., 1999. The optimal acetate buffered acetic acid technique for extracting phosphatic fossils. *Journal of Paleontology*, 73:964-972.
- King, R. E. 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 50:1625-1722.
- Klapper, G. 1966. Upper Devonian and lower Mississippian conodont zones in Montana, Wyoming, and South Dakota. *The University of Kansas Paleontological Contributions*, Paper 3:1-43.
- Klapper, G., 1971. Sequence within the conodont genus *Polygnathus* in the New York lower Middle Devonian: *Geologica et Paleontologica*, 5:59-79.
- Kuz'min, A. V., 1990. Asymmetrical paired platform elements and some specimens of the genus *Polygnathus* [conodonts]: *Paleontology Journal*, 25 (4): 62-70.
- Lane, H. R. 1968. Symmetry in conodont element-pairs. *Journal of Paleontology*, 42:1258-1263.
- Martínez-Pérez, C., P. Navas-Parejo, H. Botella, H. G. Ferrón, J. J. Palafox, R. Villanueva, B.E. Buitrón-Sánchez, M. Valencia-Moreno. 2016. Preliminary data on the Chondrichthyan and Conodont faunas from the Carboniferous of Sonora (northwestern Mexico). *En: E. Manzanares et al. (eds.), New perspectives on the Evolution of Phanerozoic Biotas and Ecosystems*, p. 32.
- Mawson, R., J. A. Talent. 1997. Famennian-Tournaisian conodonts and Devonian-Early Carboniferous transgressions and regressions in northeastern Australia. *En: G. Klapper, M. A. Murphy, and J. A. Talent (eds.), Paleozoic Sequence Stratigraphy, Biostratigraphy, and Biogeography: Studies in Honor of J. Granville ("Jess") Johnson*. *Geological Society of America Special Paper*, 321: 189-233.
- Morales Morales, H. 2012, *Hidrogeología e Hidrogeoquímica del Acuífero Transfronterizo de Agua Prieta, Sonora*. Universidad de Sonora, Tesis, 127p.
- Navas-Parejo, P., J. J. Palafox, R. Villanueva, B.E. Buitrón-Sánchez, M. Valencia-Moreno. 2015a. Conodontos del límite Misisípico-Pensilvánico en la Sierra Agua Verde, Sonora. *Paleontología Mexicana, Volumen especial 1 (XIV Congreso Nacional de Paleontología)*: 49.
- Navas-Parejo, P., J. J. Palafox, R. Villanueva, B.E. Buitrón-Sánchez, M. Valencia-Moreno. 2015b. Bioestratigrafía de conodontos del Carbonífero de la Sierra Agua Verde (Sonora, México) *Geos (Reunión Anual UGM)*, 35(1): 126.
- Nicoll, R. S., E. C. Druce. 1979. Conodonts from the Fairfield Group, Canning Basin, Western Australia. *Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bulletin*, 190:1-134.
- Peiffer-Rangin, F. 1988. Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern and central Sonora, unpublished manuscript, pp. 90.
- Playford, P.H., Hocking, R.M., Cockbain, A.E. 2009. Devonian Reef Complexes of the Canning Basin, Western Australia. *Geological Survey of Western Australia Bulletin*, 145: 1-414.
- Poole, F. G., Perry, Jr. W. J., Madrid, R. J., Martínez R. A., 2005, Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events

- and plate-tectonic model, Geological Society of America Special Paper, 393.
- Rodríguez-Cañero, R. 1993. Contribución al estudio de los conodontos del Paleozoico del Complejo Maláguide. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, España. 474 pp. y 29 láminas.
- Sandberg, C. A. 1976. Conodont biofacies of Late Devonian *Polygnathus styriacus* Zone in western United States. The Geological Association of Canada Special Paper, 15:171–186.
- Sandberg, C.A., Dreesen, R., 1984. Late Devonian icriodontid biofacies models and alternate shallow-water conodont zonation, in Clark D. L., ed, conodont biofacies and provincialism. Geological Society of America Special Paper 196:
- Sandberg, C. A., Gutschick, R. C., 1979. Guide to conodont biostratigraphy of Upper Devonian and Mississippian rocks along the Wasatch Front and Cordilleran Hingeline, Utah. In Conodont Biostratigraphy of the Great Basin and Rocky Mountains, ed, C. A. Sandberg, D.L. Clark. Brigham Young University Geology Studies, 26(3): 107-34.
- Sandberg, C. A., W. Ziegler. 1979. Taxonomy and biofacies of important conodonts of Late Devonian *styriacus*-Zone, United States and Germany. *Geologica Et Palaeontologica*, 13:173–212.
- Stewart, J.H., F.G. . 2002. Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico. USGS Open-File Report 02-97, 43p.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., Ketner, K. B., Madrid, R. J., Quintana J. R., Martínez R. A., 1990, Tectonics and Stratigraphy of the Paleozoic and Triassic Southern Margin of North America, Sonora, Mexico: in: *Geology excursions through the Sonora Desert Region, Arizona and Sonora*. Gehrels, G. E. and Spencer, J. E. (eds.). Arizona geological Survey Special paper 7: p. 183-202.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., Harris, A.G., Repetski, J.E., Wardlaw, B.R., Mamet, B.L., and Morales-Ramirez, J.M., 1999, Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16 (1): 35-62.
- Stewart, J.H., McMenemy, M.A.S., Morales-Ramirez, J.M., 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, 36p.
- Vorontsova, T. N., Kuz'min, A., 1984. Distribution of new species of conodonts of the genus *Polygnathus* from Famennian beds of central Kazakhstan: *Izvestiya Akademiya Nauk SSSR, geologicheskaya seriya*, 1984 (10): 58–64.
- Ziegler, W. 1962. Taxionomie und Phylogenie Oberdevonischer Conodonten und ihre stratigraphische Bedeutung. *Abhandlungen Der Hessischen Landesamtes Für Bodenforschung*, 38:1–166.
- Ziegler, W. (ed.). 1975. Catalogue of conodonts, volume II. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 404 pp.
- Ziegler, W., C. A. Sandberg, R. L. Austin. 1974. Revision of *Bispathodus* group (Conodonta) in the Upper Devonian and Lower Carboniferous. *Geologica et Palaeontologica*, 8:97–112.
- Ziegler, W., C. A. Sandberg. 1984. *Palmatolepis*-based revision of upper part of

standard Late Devonian conodont zonation. Geological Society of America Special Paper, 196:179–194.

Ziegler, W., C. A. Sandberg. 1990. The Late Devonian Standard Conodont zonation. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 121:1–115.